



# *IT-Infrastruktur zur digitalen Vernetzung im Werkzeugbau*

2021

Wolfgang Boos  
Christoph Kelzenberg  
Jan Wiese  
Julian Boshof  
Niklas Kessler  
Bernd Haase





## **WBA Aachener Werkzeugbau Akademie GmbH**

Die WBA Aachener Werkzeugbau Akademie GmbH erarbeitet in einem Netzwerk aus führenden Unternehmen des Werkzeugbaus branchenspezifische Lösungen für die nachhaltige Wettbewerbsfähigkeit der Branche Werkzeugbau. Im Mittelpunkt der Aktivitäten stehen die Schwerpunkte Industrieberatung, Weiterbildung sowie Forschung und Entwicklung. Durch einen eigenen Demonstrationswerkzeugbau hat die WBA die Möglichkeit, innovative Lösungsansätze in einer Laborumgebung zu pilotieren und schnell für ihre Partnerunternehmen zugänglich zu machen. Zusätzlich werden Schwerpunktthemen in aktuellen Studien vertieft. Diese geben Auskunft über Trends und Entwicklungen von Markt und Wettbewerb.



## **Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen**

Das Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen steht mit seinen rund 1.000 Mitarbeitenden weltweit als Synonym für erfolgreiche und zukunftsweisende Forschung und Innovation auf dem Gebiet der Produktionstechnik. In vier Forschungsbereichen werden sowohl grundlagenbezogene als auch an den Erfordernissen der Industrie ausgerichtete Forschungsvorhaben durchgeführt. Darüber hinaus werden praxisgerechte Lösungen zur Optimierung der Produktion erarbeitet. Das WZL deckt mit den vier Lehrstühlen Fertigungstechnik, Werkzeugmaschinen, Messtechnik und Qualität sowie Produktionssystematik sämtliche Teilgebiete der Produktionstechnik ab.

## **Impressum**

IT-Infrastruktur zur digitalen Vernetzung im Werkzeugbau  
Copyright © 2021

Autoren: Wolfgang Boos, Christoph Kelzenberg, Jan Wiese, Julian Boshof, Niklas Kessler, Bernd Haase  
Gestaltung: Delayne Kreutz

ISBN: 978-3-946612-68-1  
Druck: printclub, 1. Edition

WBA Aachener Werkzeugbau Akademie GmbH  
Campus-Boulevard 30  
D-52074 Aachen

[www.werkzeugbau-akademie.de](http://www.werkzeugbau-akademie.de)

Werkzeugmaschinenlabor WZL  
der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen  
Campus-Boulevard 30  
D-52074 Aachen

[www.wzl.rwth-aachen.de](http://www.wzl.rwth-aachen.de)

# *IT-Infrastruktur zur digitalen Vernetzung im Werkzeugbau*

2021

Wolfgang Boos  
Christoph Kelzenberg  
Jan Wiese  
Julian Boshof  
Niklas Kessler  
Bernd Haase





## Ausgangssituation

---

„Wenn möglich, bitte wenden!“ – dieser charakteristische Spruch von Navigationssystemen prägt den Alltag von Autofahrenden und ist in der Regel das Resultat einer ungenauen Positionsbestimmung. Dadurch werden Navigationsansagen zu spät übermittelt und die Reaktionszeit ist zu kurz für eine angemessene Handlungsanpassung. Eine spürbare Verbesserung soll durch das europäische Satellitennavigationssystem Galileo erreicht werden. Dieses präzisiert die räumliche und zeitliche Bestimmung der Position von Objekten, sodass die Reaktionszeit entscheidend erhöht wird. Doch auf welcher Grundlage baut das Satellitensystem Galileo auf, mit der solch weitreichende Verbesserungen erzielt werden?

Zur Verbesserung der Präzision verknüpft das System Galileo insgesamt 78 Module, die ein orbitales und planetares Netzwerk aufspannen. Planetar sind so über den gesamten Globus Boden-, Empfangs- und Verteilstationen sowie Kontroll- und Sicherheitszentren eingerichtet worden. Auf dieses planetare Netzwerk greift ein zweites orbitales Netzwerk zu. Dieses besteht aus insgesamt 28 Satelliten, die in zehn Raketenstarts auf ihre spezifischen Umlaufbahnen gebracht wurden. Aufeinander abgestimmt kreisen die Satelliten auf festgelegten Bahnen um die Erde und bauen so – neben dem planetaren – ein orbitales Netzwerk auf. Das orbitale Netzwerk erfasst kontinuierlich Daten, die an

das planetare Netzwerk übermittelt werden und so ein lückenlos vernetztes System bilden. Die Zusammenführung der Daten beider Netzwerke bildet die Grundlage für die signifikante Leistungssteigerung gegenüber rein satellitengestützter Systeme, wie beispielsweise dem allgemein bekannten Global Positioning System (GPS). Zum Vergleich: Die Zusammenführung der sonst getrennt arbeitenden planetaren und orbitalen Systeme erhöht die Genauigkeit der Positionsbestimmung um den Faktor 10. Durch diese gesteigerte Leistungsfähigkeit ergeben sich Potenziale in zahlreichen Anwendungsfeldern.

So verbessert sich infolge der präziseren Positionsbestimmung etwa die Qualität der Routenführung, was sich bei Autofahrenden in einer erhöhten Reaktionszeit bemerkbar macht. Darüber hinaus wird mithilfe von Galileo die Gestaltung von effizienteren Abläufen innerhalb der globalen Koordination von Luft- und Schifffahrt erreicht. Durch die kontinuierliche und eindeutige Ortung von Objekten wird das Management von stark frequentierten Routen verbessert und die Kapazitäten auf diesen gesteigert. Einen vergleichbaren Einsatzzweck findet Galileo in Extrem- und Notfallsituationen. Insbesondere die kontinuierliche Verfügbarkeit des Ortungssystems ist in diesen Situationen ein zentraler Erfolgsfaktor, den das Satellitensystem mit der zeitlichen und räumlichen



Präzision bedient und dadurch schnelle sowie gezielte Reaktionen ermöglicht.

Es wird ersichtlich, dass Galileo keine revolutionäre und neuartige Lösung darstellt. Vielmehr ermöglicht das System aufgrund seiner überlegenen Vernetzung die Optimierung vorhandener Anwendungen sowie die Befähigung zukunftsreicher Technologien. Ein prominentes Beispiel stellt das autonome Fahren dar, für das die Sicherstellung einer zuverlässigen und hochpräzisen Positionsbestimmung unabdingbar ist.

Die Analogie von vernetzten Satellitensystemen zur Realisierung einer durchgängigen Infrastruktur für die Erfassung und den Austausch von Daten kann auch auf den unternehmerischen Kontext übertragen werden. Begrifflichkeiten wie die digitale Vernetzung und Industrie 4.0 sind bereits seit einigen Jahren allgegenwärtig. Dennoch zeigt ein Blick in die industrielle Praxis, dass der Umsetzungsstand nach wie vor relativ gering ist. Dies ist wesentlich darauf zurückzuführen, dass Unternehmen die notwendigen Voraussetzungen nicht geschaffen haben – in besonderem Maße gilt dies auch für die Branche Werkzeugbau!

Zur Realisierung von wertschöpfungs- und marktseitigen Potenzialen im Kontext der digitalen Vernetzung, ist die Sicherstellung einer durchgängigen und ganzheitlichen

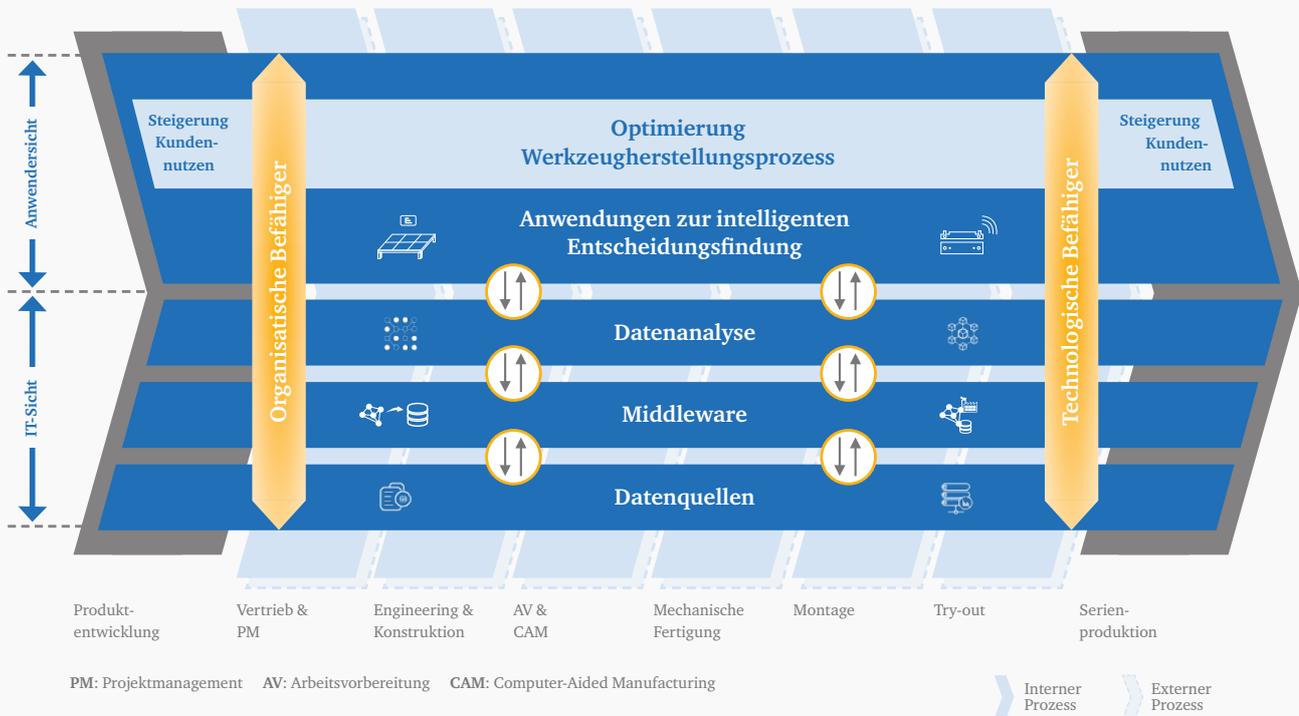
Datenbasis unumgänglich. Ohne die Vernetzung bestehender Systeme und Ressourcen, die im Zuge der Leistungserstellung im Werkzeugbau verwendet werden, kann keine umfassende Daten- und Informationsdurchgängigkeit erzielt werden. Dies bedeutet konkret, dass ohne die relevanten Daten aus der Werkzeugherstellung im eigenen Betrieb sowie produktionsspezifische Daten aus dem Produktiveinsatz des Werkzeugs keine Grundlage für die datenbasierte Ableitung von Optimierungspotenzialen existiert. Aktuell werden die Potenziale der digitalen Vernetzung von den meisten Werkzeugbaubetrieben lediglich punktuell ausgeschöpft. Während auf der Anwendungsseite zumeist bereits vielversprechende Konzepte für Industrie 4.0-Lösungen existieren und in einigen Betrieben bereits pilotenhafte Implementierungen erfolgt sind, scheitert es häufig an der Skalierbarkeit der Lösungen auf das Gesamtunternehmen. Dies ist unter anderem darauf zurückzuführen, dass es zumeist an einer leistungs- und zukunftsfähigen IT-Infrastruktur fehlt, welche – über die pilotenhafte Umsetzung hinaus – die notwendige Daten- und Informationsdurchgängigkeit unternehmensweit sicherstellt. Ziel der vorliegenden Studie ist daher die Befähigung von Werkzeugbaubetrieben zur Etablierung einer anforderungsgerechten IT-Infrastruktur. Dies erfolgt in Anlehnung an das Zielbild des digital vernetzten Werkzeugbaus.

# Zielbild des digital vernetzten Werkzeugbaus

Die vorliegende Studie richtet sich insbesondere an Führungskräfte und Mitarbeitende in Werkzeugbaubetrieben, die Themen der Industrie 4.0 bzw. digitalen Vernetzung im Zuge der Transformation ihres Unternehmens verantworten oder steuern. Während sich aktuell viele Bestrebungen auf die Realisierung der markt- und wertschöpfungsseitigen Potenziale konzentrieren, wird der systematische Aufbau von grundlegenden Voraussetzungen wie der IT-Infrastruktur nicht ausreichend fokussiert. Bedingt wird dies durch die überwiegend klein- und mittelständische Prägung der Branche Werkzeugbau und dem damit einhergehenden Fehlen von Kapazitäten, Kompetenzen und Verantwortlichkeiten in den Unternehmen.

Dabei stellt die IT-Infrastruktur der Unternehmen die Basis für eine ganzheitliche und zukunftsfähige digitale Vernetzung dar und ist Grundvoraussetzung für die Realisierung der korrelierenden Potenziale. Die Berücksichtigung dieser informationstechnologischen Sichtweise ist somit unabdingbar und stellt die Basis für den Gesamterfolg sämtlicher Aktivitäten und Bestrebungen der digitalen Vernetzung dar. Das Zielbild des digital vernetzten Werkzeugbaus wurde durch die WBA erfolgreich mit Werkzeugbaubetrieben validiert. Es berücksichtigt daher explizit die Rahmenbedingungen der Branche und stellt einen maßgeschneiderten und anwendungsorientierten Ordnungsrahmen dar.

## Zielbild des digital vernetzten Werkzeugbaus



Positioniert an der Schnittstelle von Produktentwicklung und Serienproduktion, fügt sich die Prozesskette des Werkzeugbaus in die industrielle Wertschöpfung ein. Das Zielbild berücksichtigt diese einzigartige Position, gliedert die Prozesskette der Werkzeugbaubetriebe ein und differenziert dabei eine Anwendersicht und eine IT-Sicht. Diese Differenzierung der beiden Sichtweisen ist erforderlich, um die jeweiligen Zielstellungen voneinander abgrenzen zu können.

Die Anwendersicht fokussiert einen Zielzustand, der durch die digitale Vernetzung ermöglicht und entsprechend angestrebt wird. Ein Bestandteil der Anwendersicht ist die Generierung von marktseitigem Nutzen an den Schnittstellen zur Produktentwicklung und Serienproduktion. Dieser marktseitige Nutzen wird primär durch das Angebot von ergänzenden Zusatzleistungen, wie etwa Dienstleistungen, repräsentiert. Der Fokus liegt überwiegend auf der Steigerung des Kundennutzens und wird beispielsweise durch die Realisierung von Predictive Maintenance oder der Selbstoptimierung des Werkzeugs durch intelligente Sensorik und Aktorik erzielt. Ergänzt wird die Anwendersicht um die Betrachtung von wertschöpfungsseitigem Nutzen. Dieser wird beispielsweise durch die Integration intelligenter Entscheidungsfindung zur Identifikation und Adressierung von Optimierungspotenzialen im Werkzeugherstellungsprozess erreicht. Exemplarisch kann an dieser Stelle die datenbasierte Ableitung optimaler Fräsparemeter oder die automatisierte Erstellung von Arbeitsplänen genannt werden.

Die IT-Sicht schafft demgegenüber die Voraussetzungen für die Entwicklung und Nutzung von Anwendungen zur intelligenten Entscheidungsfindung und kann daher als Befähiger der Anwendersicht verstanden werden. Der Fokus der IT-Sicht liegt demnach eindeutig auf der Schaffung der notwendigen Infrastruktur, die zur erfolgreichen Realisierung der Anwendersicht

erforderlich ist. Hierfür werden in den drei nachfolgend beschriebenen Ebenen die IT-seitigen Voraussetzungen zur Realisierung der Anwendersicht geschaffen.

Die erste Ebene bildet die Ebene der Datenquellen. Im Rahmen dieser werden die bestehenden Systeme sowie die IT-Landschaft des Unternehmens analysiert. Unter anderem erfolgt eine Untersuchung der Prozesskette auf Datenentstehungs- und Datenbereitstellungspunkte. Zudem werden vorhandene sowie notwendige Schnittstellen zwischen den Datenquellen – also Softwaresystemen und Maschinen – betrachtet. Hierauf aufbauend folgt die zweite Ebene der Middleware. In dieser findet die Homogenisierung und Nutzbarmachung der erzeugten bzw. gesammelten Daten statt. Die Middleware bildet dabei das Grundgerüst, auf Basis dessen die folgenden datengetriebenen Analysen für die Realisierung von Potenzialen durch entsprechende Anwendungen im Werkzeugherstellungsprozess ermöglicht werden. Komplettiert wird die IT-Sicht durch die dritte und letzte Ebene der Datenanalyse. Im Rahmen dieser werden konkrete Methoden und Algorithmen zur intelligenten Entscheidungsfindung fokussiert. Hierzu werden verschiedene Methoden der Data Science und des Machine Learnings vorgestellt sowie Möglichkeiten der Datenspeicherung – lokal vs. cloudbasiert – betrachtet. Zudem wird ein allgemeingültiges Vorgehen für die Datenanalyse erläutert, welches unabhängig von der eingesetzten Software anzuwenden ist.

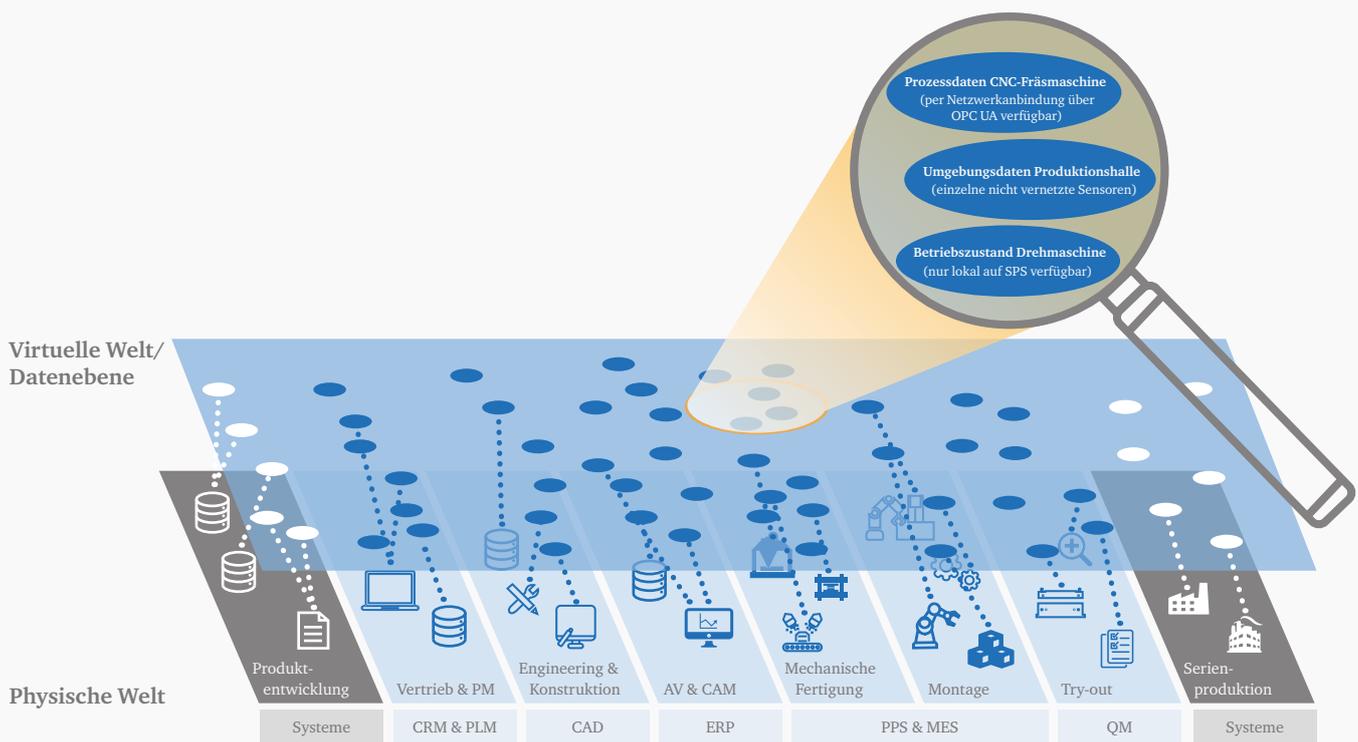
Nachdem im Rahmen der drei Ebenen aus der IT-Sicht die theoretischen, informationstechnologischen Grundlagen schrittweise eingeführt und erläutert wurden, erfolgt im Anschluss an jede der drei Ebenen eine Konkretisierung der vorgestellten Inhalte. Dies erfolgt anschaulich anhand eines konkreten Anwendungsfalls, welcher von der WBA erfolgreich in der Praxis umgesetzt wurde.

# 1. Ebene – Datenquellen

Aus IT-Sicht ist eine Grundvoraussetzung zur Umsetzung von Anwendungen der intelligenten Entscheidungsfindung die digitale Vernetzung aller notwendigen Datenquellen entlang der Prozesskette. Die Zielsetzung der ersten Ebene besteht in der Identifikation der relevanten Datenquellen entlang der Prozesskette im Werkzeugbau. Da die Menge potenziell sammelbarer und auszuwertender Daten immens groß ist, besteht die Herausforderung in der gezielten Auswahl der zu erfassenden Daten und der aufwandsarmen Datenerhebung. Dazu wird erfasst,

welche bestehenden Datenquellen entlang der Prozesskette existieren. Datenquellen können dabei als Entstehungs- und Bereitstellungspunkte von Daten im Betrieb angesehen werden. Datentyp, Datenformat oder Speichermedium können dabei höchst unterschiedlich sein. Die Daten können sowohl innerbetrieblich als auch außerbetrieblich in den verschiedenen Phasen der Prozesskette bereitgestellt werden. Dazu zählen beispielsweise Werkzeugstammdaten, CAD-Daten, Simulationsdaten, Prozessdaten, Maschinendaten sowie Kun-

## Datenquellen entlang der Prozesskette des Werkzeugbaus



PM: Projektmanagement AV: Arbeitsvorbereitung CAM: Computer-Aided Manufacturing CNC: Computerized Numerical Control  
 OPC UA: Standard für den Datenaustausch SPS: Speicherprogrammierbare Steuerung CRM: Customer Relationship Management  
 CAD: Computer-Aided Design ERP: Enterprise Resource Planning PPS: Produktionsplanung und -steuerung  
 MES: Manufacturing Execution System QM: Qualitätsmanagement PLM: Product Lifecycle Management

den Daten. Auch Daten aus dem Serienproduktionsbetrieb mit dem Werkzeug, wie z. B. Instandhaltungs- und Standmengeninformationen, können berücksichtigt werden. Die Daten liegen dabei an unterschiedlichsten Speicherorten ab. Es gibt Speicherorte auf einem stationären PC oder auf einem Netzwerklaufwerk, wie z. B. CAD-Daten. Darüber hinaus gibt es Prozessdaten einer Fräsmaschine, die direkt auf der Maschinensteuerung gespeichert werden. In der Abbildung sind die Prozesskette des Werkzeugbaus an den Schnittstellen zur Produktentwicklung und Serienproduktion sowie beispielhafte Datenquellen dargestellt.

Besonders der Werkzeugbau ist von vielen heterogenen Datenquellen und -formaten geprägt. Dies ist zum einen bedingt durch die vielfältige Softwarelandschaft entlang der Prozesskette. Darüber hinaus trägt der heterogene Maschinenpark mit Systemen vieler verschiedener Hersteller, Baujahre und Maschinentypen maßgeblich dazu bei. Insbesondere die Ausleitung von Daten aus älteren Maschinen, die nicht einen einheitlichen Standard wie beispielsweise OPC UA unterstützen, stellt eine besondere Herausforderung dar. Das sogenannte Retrofitting von Maschinen und Anlagen kann Betriebssoftware und Schnittstellen in den gewünschten Zustand überführen. Homogene Datenquellen, bei einer Systemlandschaft „aus einer Hand“, sind im Werkzeugbau unwahrscheinlich. Die Folge sind ungleiche Datenformate und -typen, fehlende Schnittstellen und Zugriffsrechte sowie eine heterogene Datenqualität. Eine weitere Schwierigkeit sind die im Werkzeugbau wenig verbreiteten MES- (Manufacturing Execution System) und MDE- (Maschinendatenerfassung) Systeme. MES und MDE zeichnen sich dadurch aus, dass sie in Industriebetrieben jeweils Datenquellen insbesondere in der Fertigung bündeln und gesammelt Daten zu Verfügung stellen können. Das MES-System stellt eine direkte Verbindung zwischen verteilten Systemen

der Prozessautomatisierung her und ermöglicht die Führung, Lenkung, Steuerung oder Kontrolle der Produktion in Echtzeit. Dazu gehören klassische Datenerfassungen und Aufbereitungen wie Betriebsdatenerfassung (BDE), Maschinendatenerfassung (MDE) und Personaldatenerfassung, aber auch alle anderen Prozesse, die eine zeitnahe Auswirkung auf den Fertigungsprozess haben. Falls kein MES- oder MDE-System vorhanden ist, müssen die einzelnen verteilten Systeme separat angeschlossen werden, was einen deutlich höheren Aufwand bedeutet. Nach der erfolgten Identifikation der Datenquellen ist es hilfreich, ebenfalls bestehende Schnittstellen zum Zugriff auf ebenjene Datenquellen zu identifizieren. Besonders im Hinblick auf die angestrebte Vernetzung von relevanten Daten(-quellen) ist es wichtig, dass die Datenquellen über möglichst standardisierte Schnittstellen verfügen. Um in den folgenden Ebenen eine effiziente Vernetzung zu ermöglichen, ist es an dieser Stelle sinnvoll einen Soll-Zustand zu skizzieren. Dazu sollte zunächst die zentrale Frage geklärt werden, welche Daten gesammelt werden sollen. Die Auswahl der Daten ist abhängig vom Anwendungszweck und der Ausgangssituation des Unternehmens. Die Erfahrung aus mehreren Industrieprojekten zeigt, dass es sinnvoll ist, die Anzahl der zu verbindenden Datenquellen sukzessive zu steigern und zunächst etwa im Rahmen eines Pilotprojektes nur die relevantesten Datenquellen zu vernetzen. Im zweiten Schritt wird die Frage geklärt, über welche Schnittstelle die Daten bereitgestellt werden. Hier sollte ein Konsens darüber herrschen, wie die Datenquellen bezüglich des Datenformats, der Schnittstelle und der Datenqualität auszulegen sind. Bei der Definition des Soll-Zustands sind unbedingt auch Anforderungen an die IT-Sicherheit zu definieren, um den Schutz der Daten vor Cyberangriffen oder unerlaubten Zugriffen möglichst zu gewährleisten.



## 3 von 10

**Werkzeugbaubetrieben haben mit der ganzheitlichen Vernetzung der notwendigen Datenquellen begonnen.**

## ***Exkurs: WBA-Use Case***

### ***1. Ebene – Datenquellen***

---

Die WBA Aachener Werkzeugbau Akademie GmbH verfügt über viele verschiedene Fertigungstechnologien, um die gesamte Wertschöpfungskette im Werkzeugbau abbilden zu können. Die Fräs-, Dreh-, Schleif- und Erodiermaschinen sind beispielsweise Fabrikate der Hersteller Hermle, DMG, OPS Ingersoll und Georg Fischer. Unterstützt werden die Mitarbeitenden durch den Einsatz von verschiedenen Systemen wie CAD/CAM-Systemen, einem Enterprise Resource Planning System (ERP) und einem Werkzeugmanagementsystem. Dementsprechend bestehen viele verschiedene Datenentstehungs- und Datenbereitstellungspunkte entlang der Prozesskette. Zusätzlich nimmt die WBA durch externe Sensoren z. B. Temperatur- und Schwingungsdaten auf und verfügt über ein Indoor-Lokalisierungssystem.

Um darauf aufbauend Optimierungspotenziale nutzen zu können, wurden in der WBA stufenweise alle Maschinen derart ausgestattet, dass auf deren relevante Daten zugegriffen werden kann. Dies war eine besondere Herausforderung aufgrund der verschiedenen Hersteller, Maschinentypen und -steuerungen, die einen typischen Werkzeugbaubetrieb darstellen. So wurde beispielsweise bei den Maschinen des Herstellers Hermle ein Zugriff über die Software-Schnittstelle Heidenhain DNC und bei den Maschinen von Georg Fischer ein Zugriff über die OPC UA hergestellt. Für einige Maschinen ist eine Anbindung über derartige Schnittstellen nicht attraktiv, da

entweder die Kosten für die Freischaltung nicht im Verhältnis zu dem Informationsgewinn stehen oder diese nicht möglich ist. Beispiele hierfür sind das Alter der Maschine oder eine rein konventionelle Steuerung. Jene Maschinen wurden derart nachgerüstet, dass die wichtigsten Informationen mit geringem Kostenaufwand abgerufen werden können. Beispielsweise kann anhand eines eigens weiterentwickelten Kamerasystems beurteilt werden, ob eine Maschine beispielsweise aktuell einen Werkzeugwechsel durchführt, gerüstet wird oder stillsteht. Dies ermöglicht in der anschließenden Auswertung eine Beurteilung der Maschineneffizienz, ohne dass Daten der Steuerung eingelesen werden müssen.

Sämtliche Datenquellen verfügen über eine Vielzahl verschiedener Datenpunkte, die nicht alle für den Anwender relevant sind. Aus diesem Grund sollten nur die Daten erfasst werden, die dem jeweiligen Anwendungsfall nutzen. Bei der Hermle Fräsmaschine können über die Schnittstelle beispielsweise bis zu 10.000 Maschinenparameter abgefragt werden. Bei Anwendungsfällen wie einer Übersicht über die Maschinenauslastung sind die benötigten Daten sehr klar definiert. Bei anderen Anwendungsfällen wie z. B. der internen vorbeugenden Instandhaltung der Anlagen hat die WBA den Ansatz verfolgt, neben den Hauptprozessparametern möglichst viele weitere Messgrößen zu erfassen, um einen Auswahlbias für spätere Einflussgrößenanalysen möglichst gering zu halten.

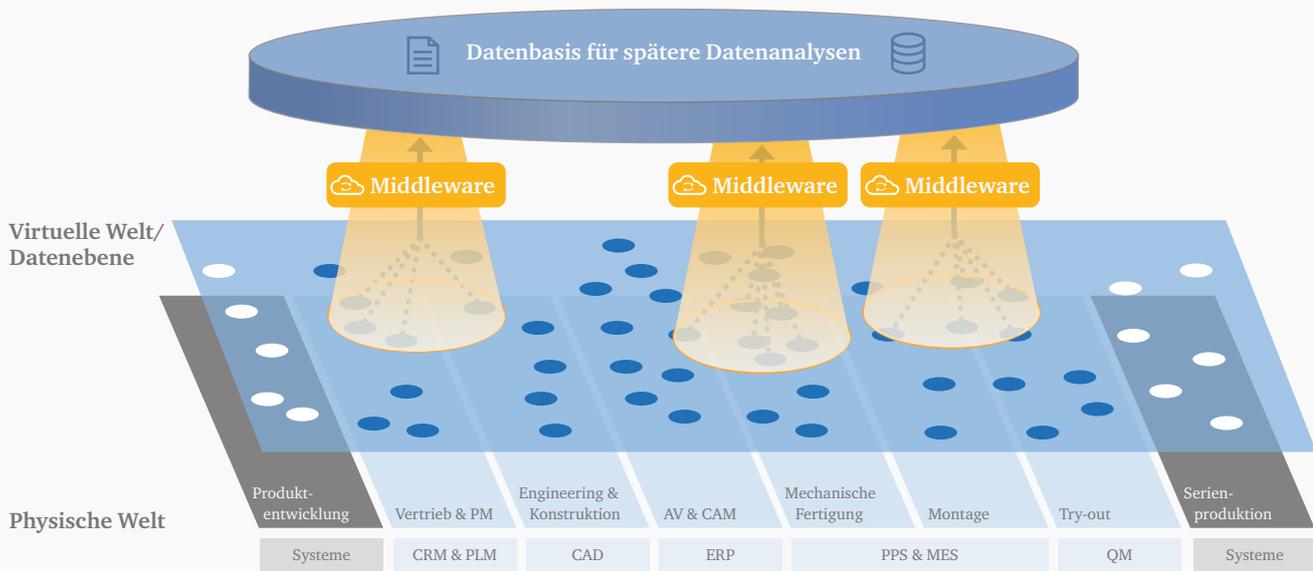


## 2. Ebene – Middleware

Nachdem die Datenquellen entlang der Prozesskette identifiziert sowie für den jeweiligen Anwendungsfall relevante Daten ausgewählt wurden, müssen diese entsprechend im zweiten Schritt nutzbar gemacht werden. Das Ziel dieser Ebene ist die Homogenisierung und Nutzarmachung der gesammelten Daten für spätere datengetriebene Anwendungsfälle. Dazu ist in vielen Fällen eine sogenannte Middleware notwendig. Im Allgemeinen ist eine Middleware eine Schicht zwischen Anwendungen und verteilten Plattformen, die die Verteilung, Verarbeitung und Koordination von Datenströmen aus verschiedenen Datenquellen von den Anwendungen trennt. In diesem Fall trennt die Middleware die verschiedenen Datenquellen entlang der Prozesskette von den Anwendungen der Datenanalyse. Eine Middleware kann somit als Softwareschicht verstanden werden, die zur Verbindung von Datenquellen, wie etwa

Anlagen, Maschinen, Steuerungen sowie Leitsystemen, und darauf aufbauenden Anwendungen, fungiert. Die Middleware soll die Daten aus den in der ersten Ebene gesammelten Datenquellen bündeln und über eine einheitliche Schnittstelle weiteren Anwendungen zur Verfügung stellen. Das Sammeln der Daten erfolgt dabei über einen direkten Zugriff auf die Datenquellen, beispielsweise die Maschinensteuerung. Die Middleware kommuniziert gleichzeitig mit vielen Datenquellen, jeweils mit unterschiedlichen Kommunikationsprotokollen und Standards. Je nach Anwendungsfall kann die Middleware dabei sowohl auf einem einfachen Feldgerät wie einem Temperatursensor als auch auf einem leistungsfähigen Rechner laufen. Es ist dabei nicht unüblich, dass mehrere Systeme, die als Middleware funktionieren, gleichzeitig zum Einsatz kommen. In der untenstehenden Abbildung sind beispielhaft verschiedene Middlewares

**Verschiedene Middlewares entlang der Prozesskette des Werkzeugbaus**



PM: Projektmanagement AV: Arbeitsvorbereitung CAM: Computer-Aided Manufacturing CNC: Computerized Numerical Control  
 OPC UA: Standard für den Datenaustausch SPS: Speicherprogrammierbare Steuerung CRM: Customer Relationship Management  
 CAD: Computer-Aided Design ERP: Enterprise Resource Planning PPS: Produktionsplanung und -steuerung  
 MES: Manufacturing Execution System QM: Qualitätsmanagement PLM: Product Lifecycle Management

entlang der Prozesskette des Werkzeugbaus dargestellt, die die gemeinsame Datenbasis für die spätere Datenanalyse aufbauen.

Bei der konkreten Ausgestaltung der Middleware sollten verschiedene Punkte beachtet werden, um eine langfristige und kostenoptimale Datennutzbarmachung zu ermöglichen. Grundsätzlich sollte ein modularer Aufbau der Middleware angestrebt werden, um eine zukünftige Einbindung weiterer Systeme und Funktionen sicherzustellen. Darüber hinaus sollten die Schnittstellen durch gängige Standards gestaltet

sein, um Sonderprogrammierungen nach Möglichkeit zu vermeiden. Bei der Auslegung der Middleware sollte eine bedarfsgerechte Frequenz für den Datenabruf gewählt werden, da ansonsten entweder sehr hohe Kosten für den Datenabruf entstehen oder Anwendungen nicht umgesetzt werden können. Die Wahl der richtigen Frequenz wird an einem Beispiel erläutert. In der nachfolgenden Tabelle sind dazu drei verschiedene Datentypen mit ihren Spezifikationen aufgelistet. Es wird unterschieden zwischen echtzeitnahen, tagesaktuellen und langfristigen Daten.

### Übersicht verschiedener Datentypen

|                           | Echtzeitnahe Daten                           | Tagesaktuelle Daten      | Langfristige Daten                               |
|---------------------------|--|--------------------------|--|
| <b>Herkunft der Daten</b> | Maschinenpark<br>Fräsbearbeitung<br>Sensoren | BDE-System<br>ERP-System | Nachkalkulation<br>Schichtplan<br>Bestandspflege |
| <b>Zeitintervall</b>      | Millisekunden bis Sekunden                   | Stunden bis Tage         | Bei Bedarf                                       |
| <b>Anbindung</b>          | Über Edge Computing                          | Über Cloud Computing     | Über Dateiupload                                 |

Echtzeitnahe Daten sind beispielsweise der aktuelle Vorschub einer Fräsmaschine. Zur Überwachung des Fräsprozesses ist es erforderlich, Daten mit einer möglichst hohen Frequenz abzurufen. Die Anbindung an die Middleware erfolgt dazu über Edge Computing. Edge Computing bezeichnet im Gegensatz zum Cloud Computing die dezentrale Datenverarbeitung am Rand des Netzwerks, der sogenannten Edge. Die sehr hohe Frequenz und die damit verbundenen sehr großen Datenmengen stellen Anforderungen an das Cloud Computing, die nicht wirtschaftlich erfüllt werden können. Die zweite Kategorie bilden die tagesaktuellen Daten. Dazu zählen beispielsweise über das BDE zurückgemeldete Stunden. Für diese Daten ist es ausreichend, wenn sie ein- oder zweimal täglich übertragen werden. Für diese niedrige Frequenz eignet sich das Cloud Computing. Abschließend gibt es langfristige Daten, wie zum Beispiel Lagermindestbestände, die auf Grund his-

torischer Daten festgelegt wurden und nur bei Bedarf manuell aktualisiert werden. Diese Daten können über einen Dateiupload auf der Middleware gespeichert werden. Entsprechend des Anwendungsfalls kann die Hard- und Software der Middleware bedarfsgerecht gewählt werden. Bei der Ausgestaltung der Middleware sollte unbedingt die IT-Sicherheit mit betrachtet werden. Beispielsweise kann bereits frühzeitig festgelegt werden, ob die Middleware im lokalen Netzwerk oder in einer Cloud aufgebaut werden soll, um einem Missbrauch strategisch wichtiger Daten vorzubeugen. Zusammenfassend kann durch eine entsprechend ausgelegte Middleware ein einfacher Zugriff auf die verschiedensten Datenquellen gewährleistet werden. Die Daten können entweder direkt von einer Anwendung heruntergeladen oder ergänzend dazu temporär respektive dauerhaft in einer (lokalen) Datenbank oder Cloud gespeichert werden.



## 2 von 10

**Werkzeugbaubetrieben setzen systematisch verschiedene Middlewares entlang der Prozesskette für die Nutzbarmachung der anfallenden Daten ein.**

## ***Exkurs: WBA-Use Case 2. Ebene – Middleware***

---

Bei der WBA fallen Daten in vielen verschiedenen Datenformaten an. Das Ziel ist es, diese in ein gemeinsames Format zu überführen. Als Datenbank nutzt die WBA für sämtliche Daten, die nicht dem ERP-System entspringen, eine SQL-Datenbank. Die Daten aus dem ERP-System liegen bereits in der Datenbank des Anbieters im richtigen Format vor.

In der Einleitung wurde erwähnt, dass viele Bestrebungen die Realisierung der markt- und wertschöpfungsseitigen Potenziale beabsichtigen, der systematische Aufbau von grundlegenden Voraussetzungen wie der IT-Infrastruktur jedoch nicht ausreichend fokussiert wird. Dies ist bedingt durch die überwiegende klein- und mittelständische Prägung der Branche Werkzeugbau und dem damit einhergehenden Fehlen von Kapazitäten, Kompetenzen und Verantwortlichkeiten in den Unternehmen. Die WBA hat über die Jahre genau diese Kompetenzen aufgebaut und konnte somit durch eine geeignete IT-Infrastruktur die Komplexität des Werkzeugbaus beherrschen. Ein besonderer Fokus lag dabei auf der Verwendung von OpenSource-Software und Standard-Hardware, um die bestehenden Systeme behalten zu können. Am Markt erhältliche IoT-Lösungen haben häufig begrenzte Kompatibilität und sind sehr kostenintensiv, weshalb die WBA eine eigene Lösung entwickelt und implementiert hat.

Die Maschinen auf dem Shopfloor sind über ein Netzwerk mit einem Windows PC verbunden, der auf die Schnittstellen der Maschinen zugreift. Der PC sammelt die Daten ein („Kollektor“) und sendet sie anschließend an einen Server weiter. Dieser Zwischenschritt ist nötig, da zum Beispiel die Heidenhain Steuerung ein Windows Betriebssystem benötigt und der Server der WBA mit Linux ausgestattet ist. Weiterhin besteht der Vorteil, dass die Daten auf dem Kollektor zwischengespeichert werden können, wenn die Verbindung zu dem Server für einen gewissen Zeitraum ausfallen sollte. Die WBA hat an dieser Stelle aktuell keine industriellen Edge-Devices eingesetzt, da diese nur für sehr hohe Datenraten wie z. B. bei einer Körperschallmessung notwendig sind und folglich Kosten gespart werden können.

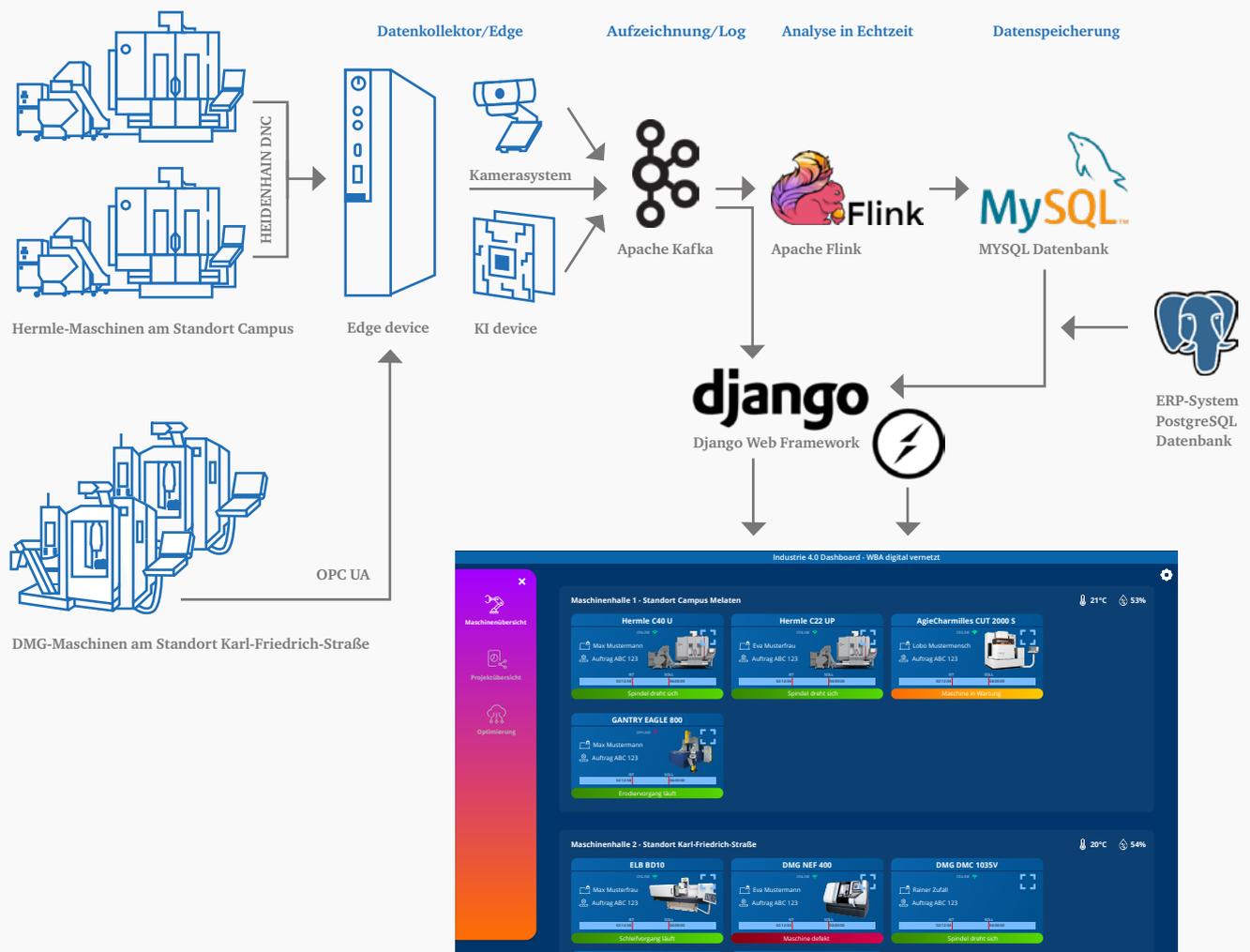
Auf dem Server ist die OpenSource-Anwendung „Apache Kafka“ installiert, welche Daten aus unterschiedlichen Quellen empfangen und wiederum an unterschiedliche Empfänger weiterleiten kann. Zum Beispiel empfängt Kafka Daten von dem Kollektor, von verschiedenen Raspberry Pi's und von einem Nvidia Jetson und verteilt diese je nach Anfrage wieder an den Jetson oder auch über ein Webframework an die SQL-Datenbank. Dies geschieht mit einer sehr geringen Abtastzeit, die im Bereich von wenigen Millisekunden liegt.

Ein großer Vorteil dieser Umsetzung ist, dass sie sich leicht erweitern lässt und auch ohne Probleme große Daten wie Webcamstreams senden kann.

Das Webframework, welches bei der WBA für das Server-Backend genutzt wird, ist ein OpenSource-Framework namens „Django“ und ist in Python geschrieben. Durch dieses

Framework kann auf die Daten von Kafka zugegriffen werden. Django schreibt diese in die Datenbank oder stellt sie für den Anwender direkt zur Verfügung. Über dieses Framework wird auch auf andere Datenbanken zugegriffen, wie zum Beispiel der Datenbank des ERP-Systems oder des Werkzeugmanagementsystems (in diesem Fall von der Firma Zoller).

### Aufbau der IT-Infrastruktur in der WBA



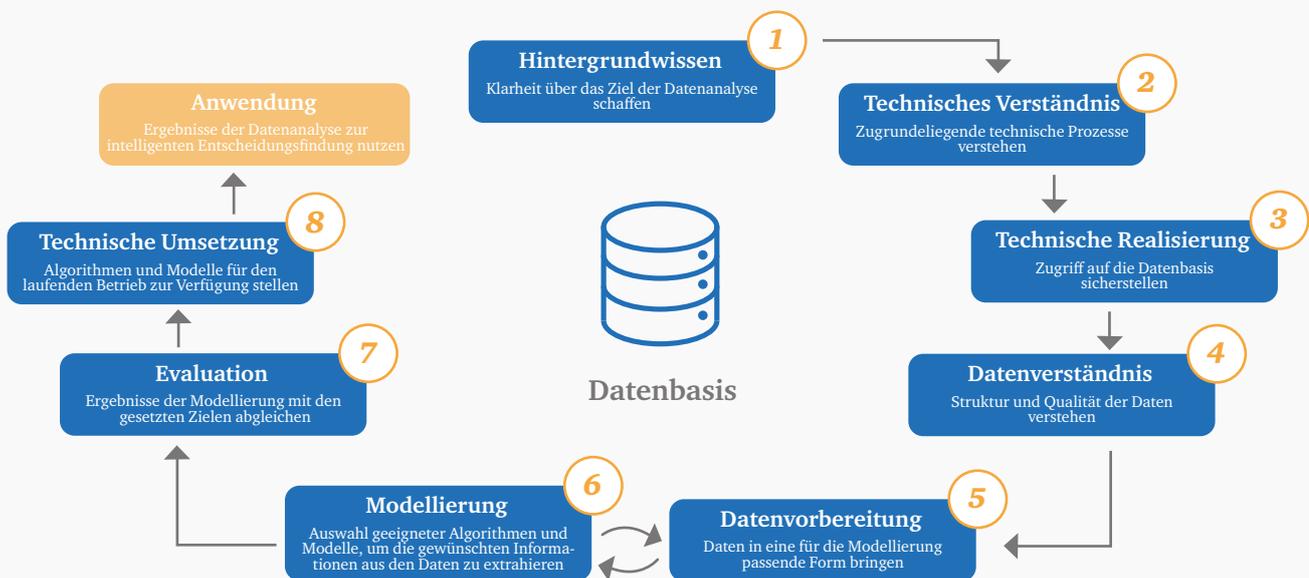
WBA digital vernetzt - Dashboard

### 3. Ebene – Datenanalyse

Mithilfe der Middleware können die heterogenen Daten aus den unterschiedlichsten Datenquellen homogenisiert und nutzbar gemacht werden, um als Input für datengetriebene Anwendungsfälle zu dienen. Die gesammelten Daten liegen bisher jedoch noch in unbearbeiteter Form vor. Um die Daten zur späteren intelligenten Entscheidungsfindung zu nutzen, ist eine vorherige Datenanalyse notwendig. Je nach Anwendungsfall und Komplexität der zu analysierenden Daten ergeben sich verschiedene Möglichkeiten der softwaregestützten Datenanalyse. Zum einen können allseits verfügbare Tools wie Excel verwendet werden. Allerdings sind die Mög-

lichkeiten zur tiefgreifenden Datenanalyse beschränkt. Cloud-Plattformen wie zum Beispiel Amazon Web Services oder Microsoft Azure bieten ebenfalls eine einfache Benutzeroberfläche mit umfangreichen Analysemöglichkeiten. Für fortgeschrittene Nutzer mit Programmiererfahrung bietet sich zudem die Möglichkeit, eigene Lösungen zum Beispiel in Python zu programmieren. Unabhängig von der eingesetzten Software ist das Vorgehen für die Datenanalyse sehr ähnlich. In der nachfolgenden Abbildung sind die acht durchzuführenden Schritte der dritten Ebene Datenanalyse dargestellt und werden nachfolgend erläutert.

Vorgehen zur Datenanalyse



Zu Beginn (1) sollte ein Grundverständnis über die Ziele der späteren intelligenten Entscheidungsfindung erlangt werden. Es sollte klar sein, welche Erkenntnisse aus der Datenanalyse gewonnen und wie diese dargestellt werden sollen. Ergänzend dazu ist es im zweiten Schritt (2) hilfreich, ein Verständnis über die zugrundeliegenden technischen Prozesse im Betrieb und den Abhängigkeiten der Daten untereinander aufzubauen, um die Datenanalyse entsprechend durchführen und die Ergebnisse interpretieren zu können. Da in den wenigsten Fällen eine Person im Unternehmen sowohl Prozessexperte auch als Datenanalyst ist, empfiehlt sich die Bildung eines interdisziplinären Projektteams. Nachdem ein Grundverständnis über das Ziel der Datenanalyse und den zugrundeliegenden Prozess vorliegt, kann im dritten Schritt (3) der Zugriff auf die Datenbasis bzw. die Middlewares auf Ebene zwei hergestellt werden. Für aussagekräftige Ergebnisse der Datenanalyse ist es essentiell, die Struktur der Daten bzw. die Datenqualität sowie die Datentypen zu kennen (4). Es ist zudem wichtig, Informationen über die Frequenz, in der die Daten bereitgestellt werden, vorliegen zu haben, um gegebenenfalls Anpassungen vornehmen zu können. Werden beispielsweise Fräsdaten in einer geringen Frequenz übermittelt, ist die Aussagekraft der Analyseergebnisse sehr begrenzt, da die Realität nur schematisch, nicht aber detailliert abgebildet werden kann. Die Wahl der richtigen Frequenz ist, wie in Ebene zwei erläutert, entscheidend, um aussagekräftige Ergebnisse bei vertretbaren Kosten zu erzielen. Die eigentliche Datenanalyse besteht aus den iterativ durchzuführenden Schritten fünf und sechs der Datenvorbereitung und Modellierung. Während der Datenvorbereitung (5) werden die Daten in eine für die Modellierung passende Form überführt. Schritte, die in dieser Phase durchgeführt werden, beinhalten zum Beispiel eine Bereinigung von Messfehlern oder irrelevanten Datenaufzeichnungen. Insbesondere der Schritt der Datenbereinigung ist häufig mit einem nicht zu vernachlässi-

genden Aufwand verbunden. Des Weiteren können hier zusammengehörige Daten aus verschiedenen Datenquellen in eine Tabellenform gebracht werden. Während der Modellierung (6) werden dann Methoden und Modelle aus dem Bereich der Data Science, wie zum Beispiel Machine Learning, angewendet. Durch die Methode des Machine Learning kann ein Algorithmus aus bekannten Daten Zusammenhänge erlernen und diese auf unbekannte Daten anwenden. Eine extrahierte Information kann die Ableitung des Werkzeugzustands, wie zum Beispiel eines Fräswerkzeugs zur Werkzeugerstellung, aus vorhandenen Sensordaten sein. Somit kann in der späteren Phase der intelligenten Entscheidungsfindung ein Werkzeug gewechselt werden, wenn die aktuellen Prozessdaten auf ein verschlissenes Werkzeug hindeuten. Die Iteration zwischen der Datenvorbereitung und der Modellierung liegt darin begründet, dass abhängig von den Ergebnissen eines ausgewählten Modells weitere Modelle und Algorithmen ausgewählt werden müssen. Für diese zusätzlich ausgewählten Modelle und Algorithmen müssen die entsprechenden Eingangsdaten vorbereitet werden. Nach Abschluss der Datenanalyse folgt der siebte Schritt (7) der Evaluation. Nachdem ein Modell entwickelt wurde, muss dies auf initial festgelegte Analyseziele überprüft werden. Kritisch ist hier die Vorhersagegenauigkeit des Algorithmus – die Wahrscheinlichkeit, mit der ein Algorithmus das korrekte Ergebnis voraussagt. Ist ein geeignetes Modell gefunden, muss dies für den Einsatz im laufenden Betrieb implementiert werden (8). Je nach Anforderungen an die Echtzeitfähigkeit oder Rechenleistung kann ein Analysemodell in der Cloud oder direkt am Datenentstehungspunkt auf einem lokalen Rechner betrieben werden. Bei der technischen Implementierung des Analysemodells ist auf eine stabile Programmausführung zu achten. Ebenso muss die IT-Sicherheit berücksichtigt werden. Nachdem alle Phasen erfolgreich durchlaufen sind, können die Analyseergebnisse für eine intelligente Entscheidungsfindung oder andere Anwendungen verwendet werden.



## 1 von 10

**Werkzeugbaubetrieben  
setzt die Datenanalyse  
als strategisches  
Werkzeug ein.**

## ***Exkurs: WBA-Use Case***

### ***3.Ebene – Datenanalyse***

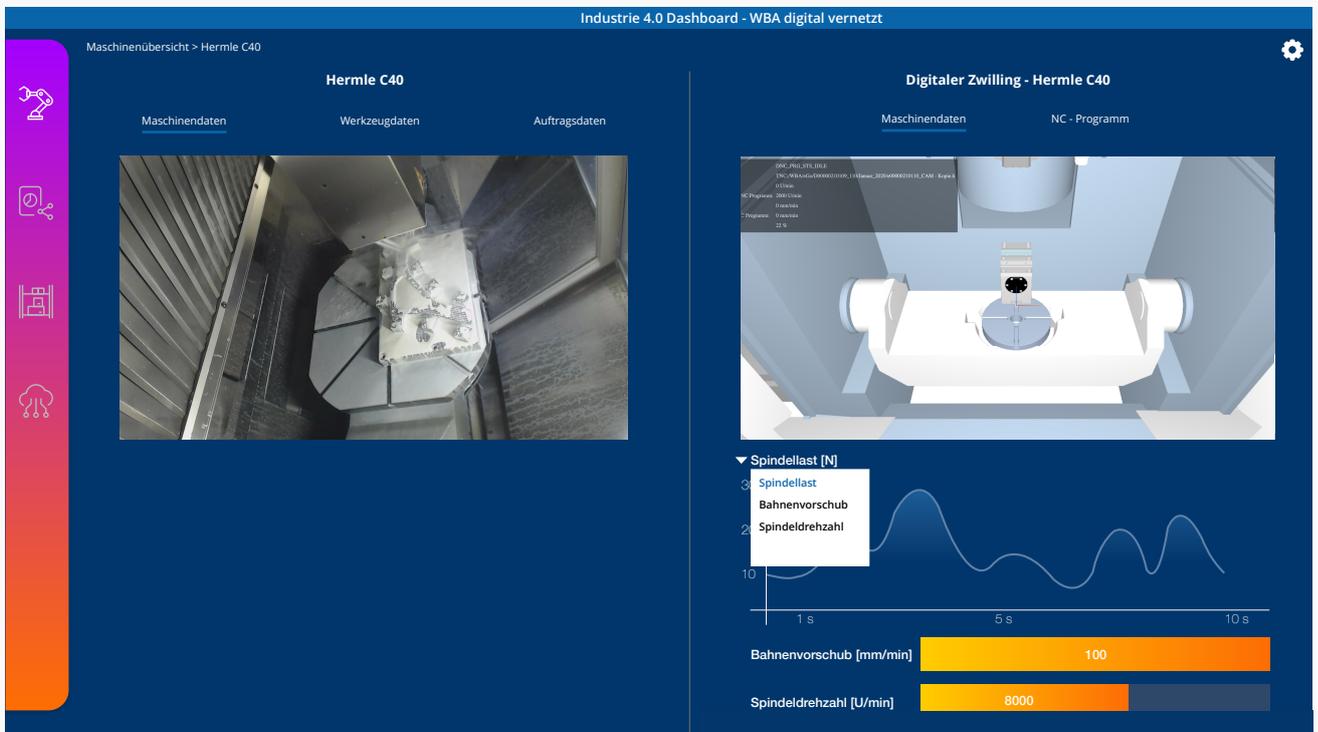
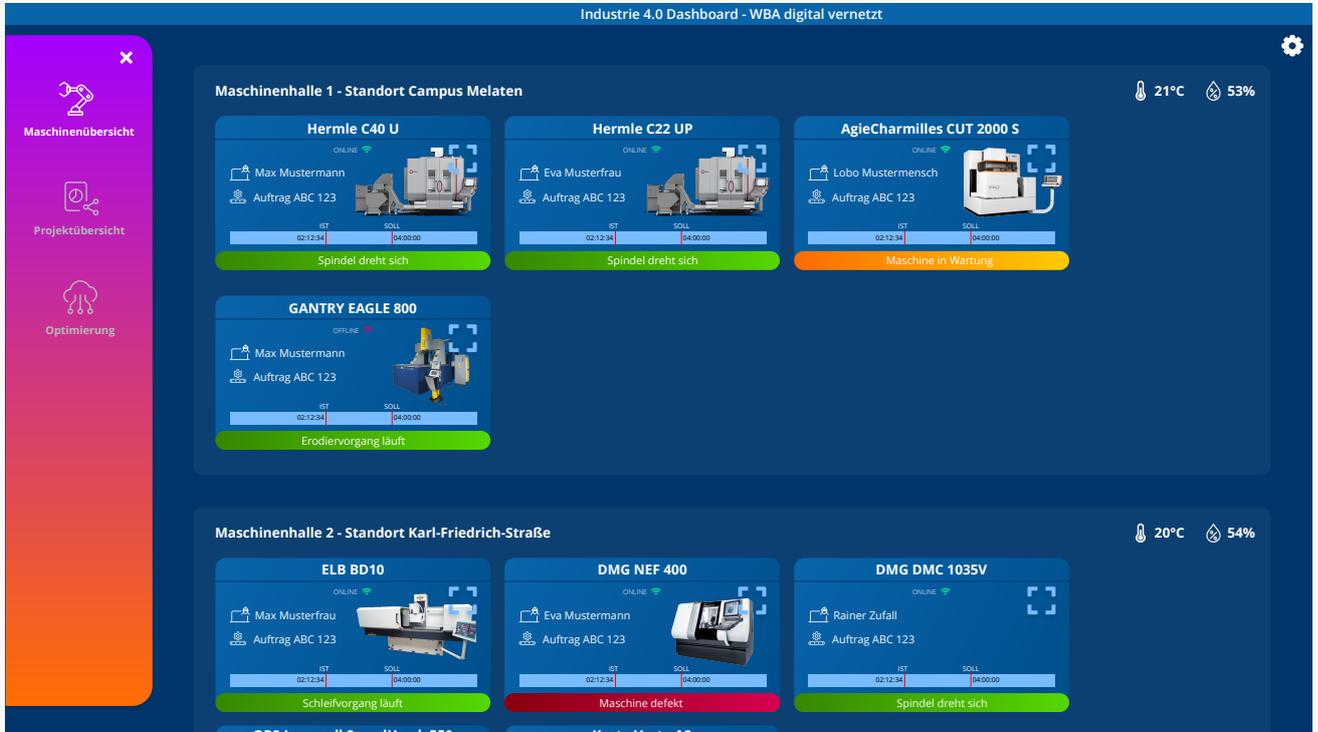
---

Um die gesammelten Daten analysieren zu können, wurde bei der WBA eine eigene Software entwickelt. Das sogenannte „WBA Dashboard“ visualisiert die gesammelten Daten benutzerfreundlich und ist modular aufgebaut, sodass je nach Anwender unterschiedliche Datensätze betrachtet werden können. Zwei Hauptbausteine sind die Maschinenübersicht und die Projektübersicht. In der Maschinenübersicht werden alle angeschlossenen Maschinen dargestellt und können bis auf die Ebene einzelner Maschinenparameter betrachtet werden. Zudem werden beispielsweise Informationen über die letzte Wartung und das Alter der Werkzeuge der Maschine dargestellt. Die Projektübersicht ermöglicht einen Überblick über den aktuellen Status jedes einzelnen Bauteils eines Projekts (z. B. eines Werkzeugs). Auch hier ist ein nahezu beliebiger Detaillierungsgrad wählbar – vom potenziellen Fertigstellungsdatum des Projekts über die Bauteilhistorie bis zur aktuellen Position des Bauteils lassen sich Informationen visualisieren. Beispielsweise ist eine intuitive und echtzeitnahe Kostenübersicht der jeweiligen Projekte bzw. Aufträge integriert.

Über das WBA Dashboard können viele verschiedene Analyse- und Optimierungsprozesse gestartet werden. Die Informationen können entweder lokal oder über eine Cloud-Plattform verarbeitet und die Algorithmen zur Optimierung können beliebig ergänzt werden. Im Dashboard sind Anwendungen zur Datenvorbereitung,

Maschinendatenauswertung und Prozessverbesserung (technologisch als auch betriebswirtschaftlich) integriert. Bei der Datenvorbereitung wird der Anwender Schritt für Schritt durch den Prozess der Datentransformation begleitet, um die Daten in eine für die Modellierung passende Form zu überführen. Ein Beispiel für diesen Vorgang ist der Umgang mit fehlenden Werten oder mit Ausreißern. Bei der Prozessverbesserung wird nach Optimierungspotenzialen für eine Kostenreduzierung oder Lieferzeitverkürzung gesucht. Ursachen für Prozessabweichungen und Potenzial wie Maschinenausfälle, Lieferengpässe externer Lieferanten, Planungsprobleme und Verschleiß können hier aufgedeckt werden. Der Vorteil der Integration von betriebswirtschaftlichen Analysen, z. B. eines Nachkalkulationstools in das WBA Dashboard ist, dass diese auf Grundlage der Datenbank bereits automatisiert erstellt wird und sich eine Einflussgrößenkalkulation mit allen Daten in der Datenbank erstellen lässt. Bei der Maschinendatenauswertung kann eine Fehleranalyse für Maschinenausfälle erstellt werden, die Wartungsintervalle können optimiert werden, der aktuelle Verschleißzustand kann vorausgesagt und die Effizienz der Maschinen berechnet werden. Durch die Herstellung einer Verbindung zur CAM-Software besteht ebenfalls die Möglichkeit einer Prozessoptimierung. Hier liegt ein Fokus auf der Frästechnologie und das Fräsoptimierungsprogramm „NCProfiler“ (entwickelt vom Fraunhofer IPT) wird dazu eingesetzt.

## Maschinenübersicht des WBA Dashboard



## Fazit

---

„Sie haben Ihr Ziel erreicht!“ – während dieser typische Spruch von Navigationssystemen für Autofahrende das Ende ihrer Reise markiert, so gilt dies mit Blick auf die Branche Werkzeugbau und ihren Reifegrad hinsichtlich der Umsetzung von Industrie 4.0 noch längst nicht. Vielmehr befindet sich der Werkzeugbau auch Jahre nach dem Ausruf der vierten industriellen Revolution noch am Anfang seines Entwicklungsweges. Der Blick in die industrielle Praxis verdeutlicht, dass bislang weder die offenkundig vorhandenen markt- noch wertschöpfungsseitigen Potenziale der digitalen Vernetzung realisiert wurden. Wenngleich die Gründe für den geringen Umsetzungsstand vielfältig sind, so kommt der fehlenden Befähigung durch eine anforderungsgerechte IT-Infrastruktur eine Hauptrolle zu. Diese stellt – ähnlich wie das orbitale und planetare Satellitennetzwerk im Kontext von Navigationssystemen – die Grundlage einer lückenlosen und durchgängigen Kommunikation von Systemen und Ressourcen entlang des Werkzeugherstellungsprozesses und -lebenszyklus dar. Bislang bleibt für viele Werkzeugbaubetriebe jedoch die Frage unbeantwortet, wie die anforderungsgerechte Auslegung der IT-Infrastruktur erfolgen sollte.

In der vorliegenden Studie wurde daher das Zielbild des digital vernetzten Werkzeugbaus vorgestellt. Dieses soll Werkzeugbaubetriebe befähigen, ihre IT-Infrastruktur anhand der eingeführten Ebenen Datenquellen, Middleware und Datenanalyse auszurichten und aufzubauen. Durch Adressierung der Ebene Datenquellen schaffen Werkzeugbaubetriebe die notwendigen Voraussetzungen, die im Rahmen der Werkzeugherstellung anfallenden Daten aus den verschiedenen, proprietären Systemen verfügbar zu machen. Durch Ausgestaltung einer entsprechenden Middleware in der zweiten Ebene wird sichergestellt, dass die vorhandenen und gespeicherten Daten homogenisiert und nutzbar gemacht werden. Dies ist erforderlich, um in der dritten Ebene durch entsprechende Datenanalysen Optimierungspotenziale zu identifizieren sowie die Voraussetzungen zur Realisierung intelligenter Anwendungen zur Entscheidungsfindung zu schaffen. Die vorgestellten Ebenen der IT-Infrastruktur im digital vernetzten Werkzeugbau stellen somit einen Ordnungsrahmen dar, anhand dessen Werkzeugbaubetriebe die eigenständige digitale Vernetzung erfolgreich ausrichten und gestalten können.





# Autoren

---



## **Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Boos**

Geschäftsführer

WBA Aachener Werkzeugbau Akademie GmbH

---



## **Dr.-Ing. Christoph Kelzenberg**

Leiter Abteilung Unternehmensentwicklung

Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen

---



## **Jan Wiese**

Leiter Digitale Lösungen & Innovation

WBA Aachener Werkzeugbau Akademie GmbH

---



## **Julian Boshof**

Ehemaliger Gruppenleiter Abteilung Unternehmensentwicklung

Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen

---



## **Niklas Kessler**

Gruppenleiter Abteilung Unternehmensentwicklung

Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen

---



## **Bernd Haase**

Wissenschaftlicher Mitarbeiter Abteilung Unternehmensentwicklung

Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen

---

# Unsere Studien – Strategische Entwicklung ...

---



**IT-Infrastruktur zur digitalen Vernetzung**  
2021



**Datenbasierte Dienstleistungen für den Werkzeugbau – Status quo, Entwicklung und Beispiele**  
2021



**Wettbewerbsfaktor Resilienz – Handlungsfelder für den krisensicheren Werkzeugbau**  
2021



**Wettbewerbsfaktor Nachhaltigkeit – Ein Differenzierungsmerkmal für den Werkzeugbau**  
2020



**Digitale Transformation im Werkzeugbau**  
2019



**Intelligente Werkzeuge und datenbasierte Geschäftsmodelle**  
2018



**Corporate Tooling – Agile Tool Development**  
2017



**Corporate Tooling – Flexible Tooling Organization**  
2017



**Corporate Tooling – Intelligent Tool Manufacturing**  
2017



**Smart Tooling**  
2016



**Fast Forward Tooling**  
2015



**F3 Fast Forward Factory**  
2015

# Unsere Studien – Erfolgreich ...

---



**Erfolgreich  
Senkerodieren**  
2021



**Erfolgreich Layout  
Gestalten**  
2020



**Erfolgreich Planen  
und Steuern**  
2019



**Erfolgreich  
Fokussieren und  
Segmentieren**  
2019



**Erfolgreich  
Digitale  
Fräsprozessketten  
Umsetzen**  
2019



**Erfolgreich  
Lieferanten  
Managen**  
2018



**Erfolgreich  
CAX-Prozessketten  
Gestalten**  
2018



**Erfolgreich  
Fräsen**  
2018



**Erfolgreich  
Automatisieren**  
2017



**Erfolgreich  
Restrukturieren**  
2017



**Erfolgreich  
Performance  
Messen**  
2017



**Erfolgreich  
Fertigungstechno-  
logien Einsetzen**  
2017

# Unsere Studien – Erfolgreich ...

---



**Erfolgreich  
Finanzieren**  
2016



**Erfolgreich  
Digital Vernetzen**  
2016



**Erfolgreich  
Mitarbeiter  
Motivieren**  
2016



**Erfolgreich  
Kalkulieren**  
2015



**Erfolgreich  
Planen**  
2015

# Unsere Studien – Tooling in ...

---



**Tooling in  
Austria**  
2020



**Tooling in  
Germany**  
2020



**Tooling in  
Slovenia**  
2019



**World of Tooling**  
2018



**Tooling in Czech  
Republic**  
2018



**Tooling in  
Germany**  
2018



**Tooling in China**  
2016



**Tooling in Turkey**  
2016



**Tooling in  
Germany**  
2016



**World of Tooling**  
2015

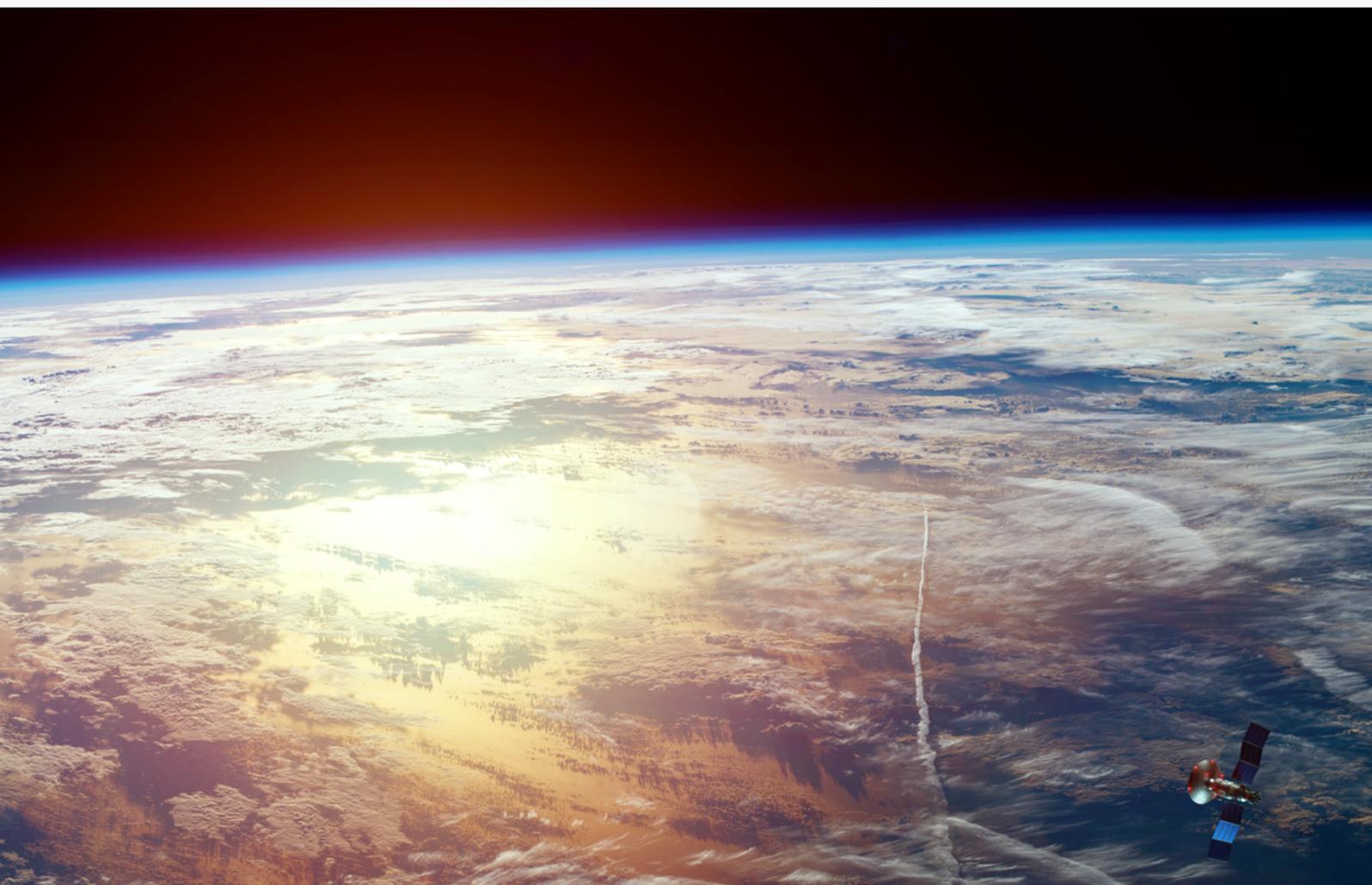


**Tooling in China**  
2015



**Tooling in South  
Africa**  
2014





---

## ***Herausgeber***

### **WBA Aachener Werkzeugbau Akademie GmbH**

Campus-Boulevard 30  
52074 Aachen

[www.werkzeugbau-akademie.de](http://www.werkzeugbau-akademie.de)

### **Werkzeugmaschinenlabor WZL**

der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen  
Campus-Boulevard 30  
52074 Aachen

[www.wzl.rwth-aachen.de](http://www.wzl.rwth-aachen.de)

978-3-946612-68-1



9 783946 612681