

White Paper

# Expertenumfrage Instandhaltung



Manuel Bösing  
Claudio Geisert  
Dr. Elisabeth Brandenburg

# Inhalt

1. Einleitung	3
2. Aktuelle Situation in der Instandhaltung	4
3. Forschungsfrage und Fokus der Expertenbefragung	8
4. Methodik	9
5. Ergebnisse	10
6. Einsatz digitaler Lösungen	17

Alle in diesem Dokument verwendeten Markennamen, Warenzeichen, Produktbezeichnungen, deren Abkürzungen und Logos sind Eigentum der betreffenden Unternehmen und werden als geschützt anerkannt. Alle durch Dritte geschützte Marken- und Warenzeichen unterliegen uneingeschränkt den Bestimmungen des jeweils gültigen Kennzeichenrechts und den Besitzrechten der jeweiligen eingetragenen Eigentümer. Allein aufgrund der bloßen Nennung ist nicht der Schluss zu ziehen, dass Markenzeichen nicht durch Rechte Dritter geschützt sind.

© CONTACT Software GmbH. Alle Rechte vorbehalten. Nach Redaktionsschluss dieser Schrift können sich noch Änderungen ergeben haben. Alle Angaben ohne Gewähr.

# Einleitung

Die Instandhaltung ist zum entscheidenden Erfolgsfaktor in der Industrie geworden. Ungeplante Ausfallzeiten haben im Jahr 2022 allein bei den Fortune Global 500-Industrieunternehmen einen geschätzten Kostenaufwand von fast 1,5 Billionen US-Dollar verursacht. Im Vergleich zu einer Umfrage von 2019/20 entspricht das einer Steigerung von 65 % und macht mittlerweile 11 % des Unternehmensumsatzes aus. [1] Das unterstreicht, wie wichtig effiziente Prozesse und Strategien in der Instandhaltung für die Wettbewerbsfähigkeit sind.

Aktuelle Herausforderungen in der Instandhaltung umfassen den Umgang mit alternden Anlagen, die Integration neuer Technologien und die Sicherstellung verfügbarer qualifizierter Fachkräfte. Zudem sind Unternehmen gefordert, nachhaltiger zu handeln und Kosten zu senken, ohne die Qualität und Zuverlässigkeit der Anlagen zu beeinträchtigen.

Digitale Lösungen und Technologietrends wie das Internet der Dinge (IoT), künstliche Intelligenz (KI) und Predictive Maintenance bieten vielversprechende Ansätze, diese Herausforderungen zu meistern. Sie ermöglichen eine vorausschauende Instandhaltung, sparen Ressourcen, minimieren Ausfallzeiten und verlängern die Lebensdauer von Anlagen.

Um die konkreten Herausforderungen in der Instandhaltung abzubilden, wurde in Zusammenarbeit mit Branchenexpert\*innen eine Befragung durchgeführt. Ziel ist es, die Herausforderungen branchenspezifisch und in Abhängigkeit des jeweiligen Digitalisierungsgrads der Unternehmen zu identifizieren. Die gewonnenen Ergebnisse dienen dazu, maßgeschneiderte Empfehlungen zu entwickeln, die Instandhaltungsprozesse zu optimieren und die Wettbewerbsfähigkeit zu steigern.



# Aktuelle Situation in der Instandhaltung

## Bedeutung der Instandhaltung

Eine effektive und effiziente Instandhaltung bietet für Unternehmen eine Vielzahl von Vorteilen. Die deutsche Akademie der Technikwissenschaften (acatech) berechnete 2015 die wirtschaftliche Relevanz der Instandhaltung: „Indem sie die drei- bis fünfmal höheren Folgekosten einer Störung vermeidet, erwirtschaftet die Instandhaltung umgerechnet Anlagenverfügbarkeiten und Produktivitätswerte für die deutsche Industrie mit einem Gegenwert von rund einer Billion Euro jährlich“ [2]. Auch die Lebensdauer von Anlagen und Maschinen lässt sich durch gezielte Instandhaltungsmaßnahmen verlängern und Investitionskosten nachhaltig senken. Zudem steigert eine gut gewählte Wartungsstrategie die Betriebssicherheit und die Zuverlässigkeit der Maschinen. [3] Auch lässt sich die Energieeffizienz durch einen optimalen Betrieb der Maschinen und Anlagen erhöhen. Durch insgesamt stabilere Produktionsprozesse verbessert die Instandhaltung auch die Qualität der produzierten Waren. [2; 3]

Die Instandhaltung spielt für viele Wirtschaftszweige eine hervorgehobene, teilweise sicherheitskritische Rolle. So hängen Produktion und Fertigung in der Industrie stark von der Zuverlässigkeit der Maschinen ab. In der Energiewirtschaft sichern konstante Instandhaltungsmaßnahmen den Betrieb von Kraftwerken und Versorgungsnetzen. Im Transport und in der Logistik sind gut gewartete Fahrzeuge und deren Infrastruktur für stabile Lieferketten essenziell. Auch im Bauwesen sorgen regelmäßige Wartungen der Baumaschinen und -geräte für reibungslose Prozesse. Und im Gesundheitswesen

ist die zuverlässige Wartung medizinischer Geräte unverzichtbar, um die Sicherheit der Menschen zu gewährleisten. Unternehmen können die Instandhaltung ihrer Maschinen und Anlagen mit verschiedenen Strategien sicherstellen. Beispiele werden in Bild 1 aufgeführt. Dabei wird grundsätzlich zwischen reaktiver und präventiver Instandhaltung unterschieden. Reaktive Instandhaltungsmaßnahmen wie Reparaturen erfolgen bei Defekten, präventive verhindern Ausfälle

Umgang mit neuen Technologien und Methoden vor. [4] Mit der auf das Unternehmen zugeschnittenen Instandhaltungsstrategie lassen sich langfristig die Betriebskosten durch geringere ungeplante Ausfallzeiten der Anlagen senken [1] sowie die Lebensdauer der Anlagen verlängern. Darüber hinaus ermöglichen es gut gepflegte Maschinen die Marktposition der Unternehmen mit qualitativ hochwertigen Produkten zu stärken. Gleichzeitig lassen sich die

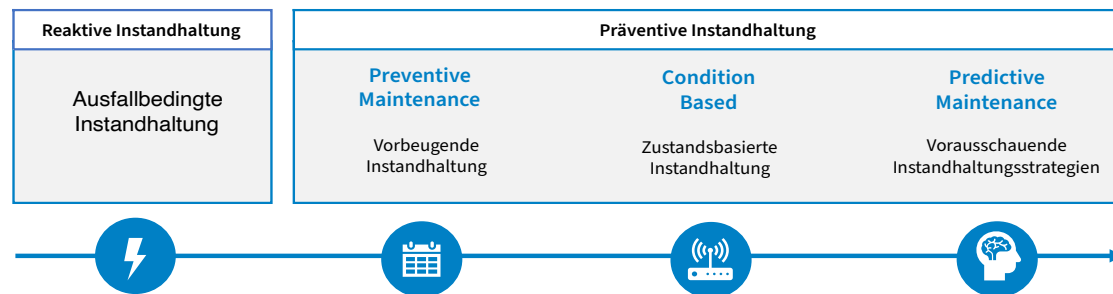


Bild 1: Instandhaltungsstrategien [5]

von Anlagen durch Wartung. Condition Monitoring erfasst relevante Parameter, um den Maschinenzustand kontinuierlich zu überwachen. Predictive Maintenance nutzt Sensordaten, um den zukünftigen Zustand zu prognostizieren. Des Weiteren setzen industrielle Unternehmen häufig ein Ersatzteilmanagement ein, das die Verfügbarkeit der notwendigen Ersatzteile für die Wartungsaufträge sicherstellt. Schulungen und Weiterbildungen bereiten die Mitarbeitenden für den

Rund

# 1 Billion Euro

an Produktivitätswerten sichert die Instandhaltung der deutschen Industrie jährlich durch die Vermeidung von Störungen.

Umweltauswirkungen der Instandhaltung reduzieren, indem Emissionen, Energieverbräuche, Abfälle und der Einsatz umweltbelastender Stoffe minimiert werden. [6]

### Aufwände und Herausforderungen

Die Instandhaltung bringt diverse Aufwände und direkte Kosten mit sich. Dazu zählt zunächst das erforderliche Personal, das für die Wartungs- und Reparaturarbeiten qualifiziert sowie fortlaufend geschult und weitergebildet werden muss. Materialkosten für Ersatzteile, Schmierstoffe, Werkzeuge und andere Verbrauchsmaterialien sind ein weiterer Kostenfaktor. Hinzu kommen Ausgaben, um Diagnose- und Überwachungssysteme von Industrieanlagen anzuschaffen und zu warten. Auch die Dokumentation sowie Verwaltung von Instandhaltungsprotokollen und Wartungsplänen verursacht Zeit- und Kostenaufwand. Zieht das Unternehmen externe Dienstleister für spezielle Wartungsaufgaben hinzu, steigen die anfallenden Instandhaltungskosten weiter. Schließlich führen geplante und ungeplante Stillstände von Maschinen und Anlagen während der Wartung zu zusätzlichen zeitlichen und finanziellen Belastungen. [7]

Neben dem Zeit- und Kostenaufwand, erschwert wie in vielen anderen Branchen auch der Fachkräftemangel qualifiziertes Personal zu finden und langfristig zu binden. [8] Gleichzeitig führt der technologische Fortschritt häufig zu einer wachsenden Komplexität, insbesondere bei der Einführung und Nutzung digitaler Lösungen. Während die technologischen Möglichkeiten immer ausgefeilter werden, altert oft die Kerninfrastruktur vieler Maschinen und Anlagen, [9] was zu häufigeren Ausfällen und aufwändigeren Instandhaltungseinsätzen führt. Oft wird die Instandhaltung nur als Kostenfaktor gesehen und ist auf Einsparungen ausgerichtet.

Eine effektive und effiziente Instandhaltung erfordert jedoch die Balance zwischen ausreichender Wartung und Kosteneffizienz. [10]

Anstehende Wartungsarbeiten müssen gut geplant und koordiniert sein, um Produktionsunterbrechungen zu minimieren. Den Lagerbestand zu überwachen und gegebenenfalls zu erneuern stellt sicher, dass Ersatzteile bei Bedarf verfügbar sind. Allerdings lassen überfüllte Lager die Haltungskosten signifikant steigen.

Je nach Branche und Kritikalität der Wartung sind strenge Sicherheitsstandards und Vorschriften einzuhalten, wie etwa die AS/EN 9110-Vorgaben für Luft- und Raumfahrtteile. Mit zunehmender Digitalisierung der Maschinen und Anlagen wächst auch die Menge der zu verarbeiteten Daten. Diese müssen erfasst, analysiert und für die Vorhersage von Wartungsarbeiten bereitgestellt werden. Ein effizientes Datenmanagement ist entscheidend, um diese Komplexität zu bewältigen und den maximalen Nutzen aus den Daten zu ziehen.

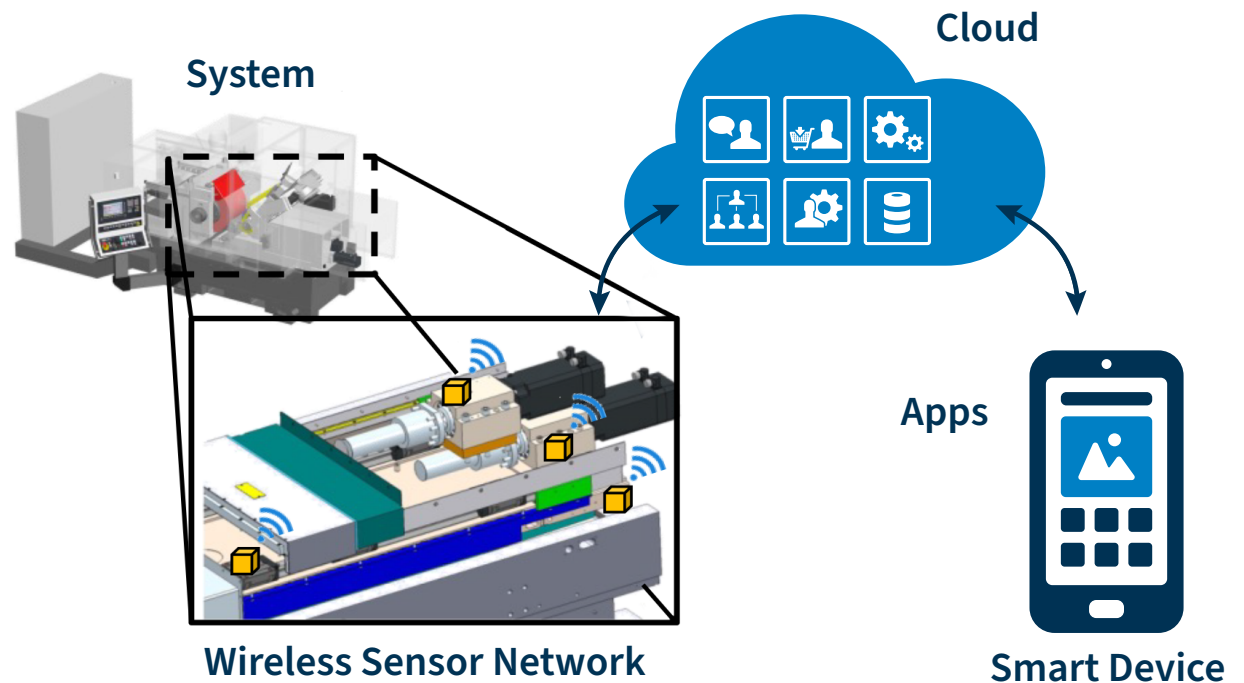


Bild 2: Vernetzung einer Produktionsanlage [11]

**Digitale Lösungen und Technologietrends**

Um die genannten Herausforderungen zu bewältigen, setzen Unternehmen vermehrt technologische Lösungen ein. Ein wesentlicher Trend ist Predictive Maintenance: Sind Maschinen und Anlagen sensortechnisch ausgestattet und entsprechend vernetzt, ermöglicht das die kontinuierliche Überwachung des Anlagenzustands. Die erfassten Daten zu analysieren ist notwendig, um Vorhersagen zu Wartungsbedarfen zu treffen. Bei großen Datenmengen erfolgt das meist mit Hilfe von KI. UHLMANN ET AL. beschreiben die Analyse beispielhaft anhand elektronischer Großantriebe. [12] Die Analyse zielt darauf ab, Muster und Anomalien zu erkennen, die auf eine Zustandsänderung der Anlage hindeuten. [13] Oft werden die Daten in der Cloud gespeichert und verarbei-

tet, da verschiedene Parteien einfacher darauf zugreifen können, was die Zusammenarbeit erleichtert. [14] Der Digitale Zwilling (engl. Digital Twin), ein virtuelles Abbild von realen Maschinen und Anlagen, ermöglicht eine Simulation dieser Anlagen und dadurch die Optimierung von Wartungsprozessen. [15; 16]

Zur Fernwartung zählen verschiedene Aspekte, die Instandhaltungsaktivitäten technologisch unterstützen: Zum einen zeigt die Überwachung von Maschinen und Anlagen aus der Ferne Probleme frühzeitig an, zum anderen ermöglicht ein virtuelles privates Netzwerks (VPN) sichere Verbindungen für den Fernzugriff auf Maschinen und Steuerungssysteme.

Auch die Augmented Reality (AR) wird in der Fernwartung eingesetzt und bietet dem Wartungspersonal mithilfe von AR-Brillen und -Apps visuelle Anleitungen und Echtzeit-Informationen. Bei Bedarf unterstützen Fachexpert\*innen mittels Videoanruf. Außerdem überträgt die sogenannte Telemetrie Maschinendaten zur Analyse und Fehlerdiagnose an zentrale Überwachungssysteme. [17]

Auch kognitive Assistenzsysteme unterstützen in der Instandhaltung in vielerlei Hinsicht, wie die Übersicht in Bild 2.3 zeigt. Eine Form davon sind sogenannte virtuelle Assistenten: Chatbots und Sprachassistenten, die bei der Fehlersuche und Wartung helfen. [18]

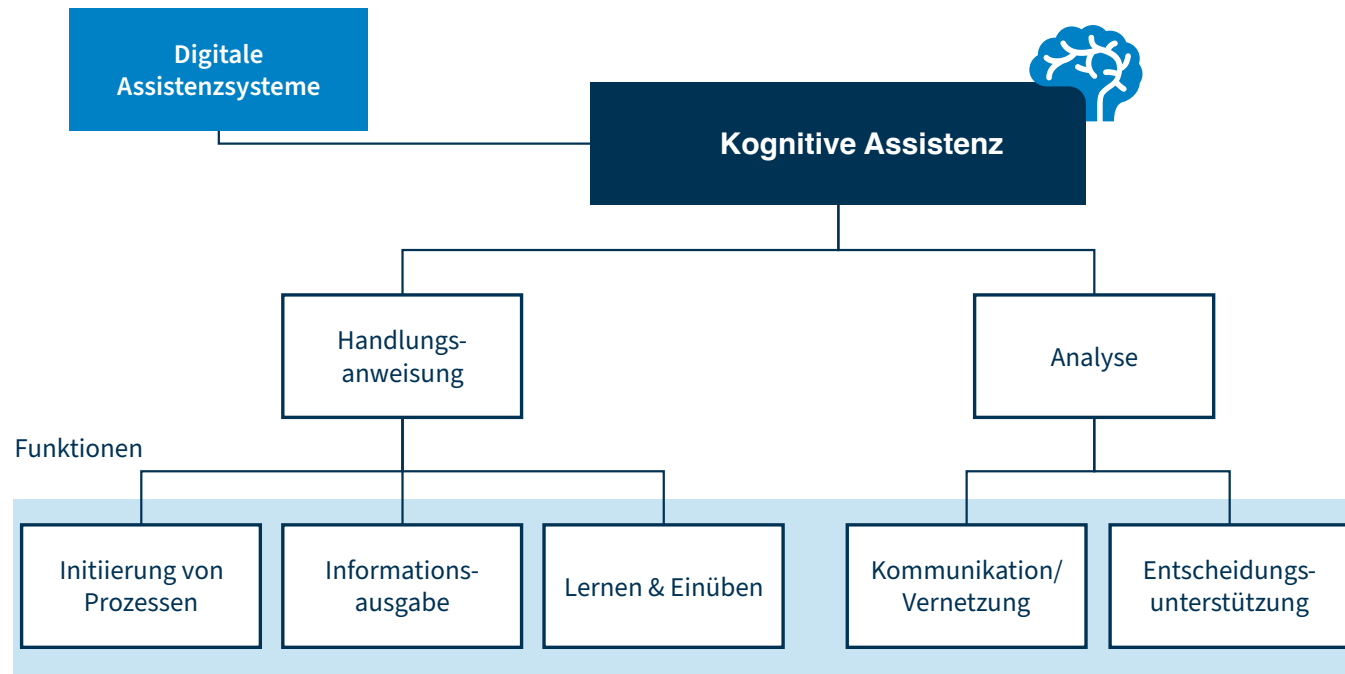


Bild 3: Kognitive Assistenzsysteme [19]

Falls das Personal die Informationen unterwegs oder vor Ort benötigt, kommen Wearables zum Einsatz. Dazu gehören Smartwatches und andere tragbare Geräte, welche die Echtzeit-Kommunikation ermöglichen. Entsprechende Assistenzsysteme bieten auch die Option für AR-gestützte Schulungen. Dabei handelt es sich um Trainingsprogramme mit realitätsnahen Szenarien. Mobile Applikationen auf dem Smartphone oder Tablet erleichtern in der Instandhaltung den Zugriff auf Wartungspläne und -dokumentationen. Grundlage ist dafür insbesondere die Verbindung mit einer zentralen Plattform, die alle relevanten Informationen beherbergt. [20 - 24]

Weitere Technologietrends umfassen den Einsatz von Robotern und automatisierten Systemen, um routinemäßige Inspektionen ohne menschlichen Beitrag durchzuführen. [25] Auch additive Fertigungsverfahren wie 3D Druck werden angewendet, um Ersatzteile direkt vor Ort herzustellen. [4; 26] Außerdem integrieren Unternehmen Energiemanagementsysteme in den entsprechenden Instandhaltungsprozess, um Energieverbräuche zu überwachen und zu optimieren. [27]

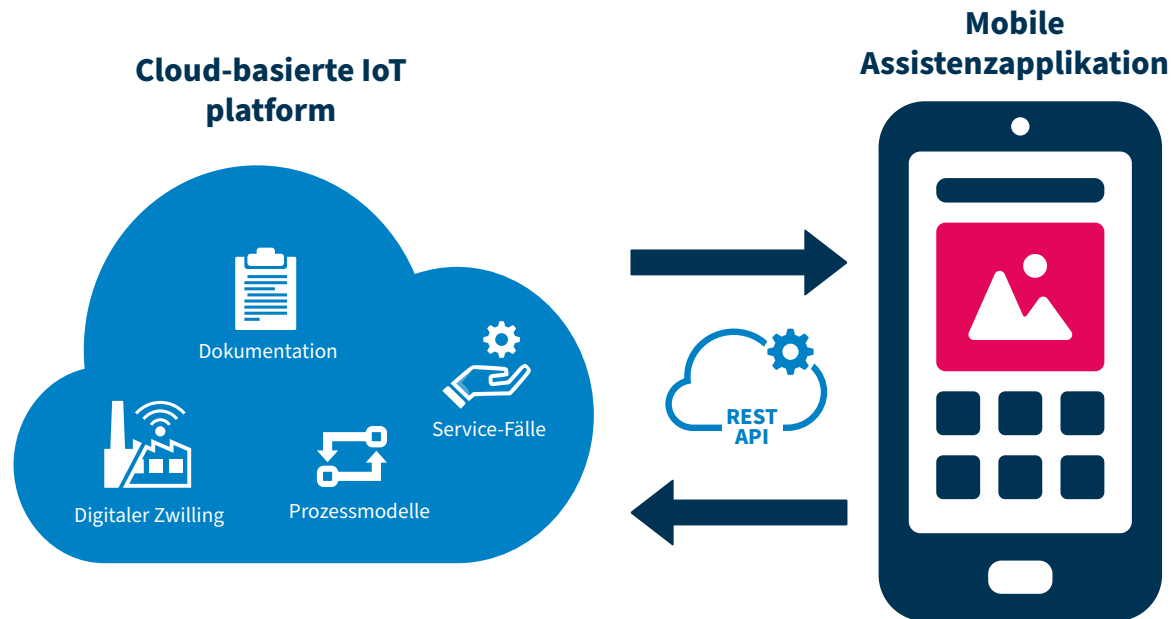


Bild 4: Bidirektionale Kommunikation zwischen Assistenzapplikation und IoT-Plattform [24]

# Forschungsfrage und Fokus der Expertenbefragung

Die im vorhergehenden Kapitel referenzierten Quellen zeigen die Vielzahl an Herausforderungen in der Instandhaltung von Produktionsmaschinen und -anlagen. Die aktuelle wissenschaftliche Literatur untersucht jedoch nicht die unterschiedlichen Perspektiven auf die Herausforderungen je nach Tätigkeitsbereich in der Instandhaltung. Der erste Teil der vorliegenden Expertenbefragung richtet sich auf genau dieses Thema, der zweite Teil auf das Informationsmanagement mittels digitaler Lösungen. Die Expertenbefragung beleuchtet, wie vielfältige digitale Technologien Unternehmen ermöglichen, die zuvor genannten Herausforderungen anzugehen. Darüber hinaus werden die Auswirkungen eines gut strukturierten, digitalen Informationsmanagements auf die Dauer informationsbezogener Tätigkeiten der Mitarbeitenden in der Instandhaltung bewertet. Konkret ergeben sich folgende Fragestellungen:

- FF1: Welche konkreten Herausforderungen treten im Rahmen der Instandhaltung unter den Befragten am häufigsten auf?
- FF2: Gibt es unterschiedliche Herausforderungen, je nach Tätigkeitsbereich in der Instandhaltung?
- FF3: Welche digitalen Lösungen werden vermehrt in der Instandhaltung eingesetzt?
- FF4: Welche Auswirkungen hat ein gut strukturiertes, digitales Informationsmanagement auf die Dauer informationsbezogener Tätigkeiten? (z. B. Informationssuche, Dokumentation, etc.)



# Methodik

Die Expertenbefragung besteht aus 22 Fragen in sechs Kategorien:

- Unternehmen und Person,
- Bewertung der Aufgaben,
- Arbeitsorganisation,
- Informationen für die Aufgaben,
- Bewertung der Informationen sowie
- Tools für die Aufgaben

Das **FRAUNHOFER IPK** führte die Expertenbefragung in Kollaboration mit der **CONTACT SOFTWARE GMBH** durch. Im Zeitraum von April 2023 bis Ende Mai 2023 gab es zunächst online einen Pretest. Nach Auswertung des Pretests und Überarbeitung des Fragebogens fand die Expertenbefragung von Mitte Februar bis Ende Juni 2024 statt.

Insgesamt nahmen n = 21 Teilnehmenden aus der Instandhaltungsbranche an der Umfrage teil, davon sind elf in der strategischen Planung und jeweils fünf in der operativen Einsatzplanung und Durchführung tätig.

Die Teilnehmenden wurden mittels E-Mail, Telefon sowie persönlicher Ansprache auf Messen auf die Expertenbefragung aufmerksam gemacht und haben sie online durchgeführt.

In der Auswertung sind die Branchen Automotive sowie Metallerzeugung und -bearbeitung mit jeweils fünf Teilnehmenden am häufigsten vertreten. Annähernd die Hälfte der Befragten ist in großen Unternehmen mit über 50 Millionen Jahresumsatz und über 250 Mitarbeitenden beschäftigt. In Bild 5 sind die Metadaten zur Expertenbefragung dargestellt, die Branchen, Umsatz, Region und Anzahl der Mitarbeitenden beinhalten.

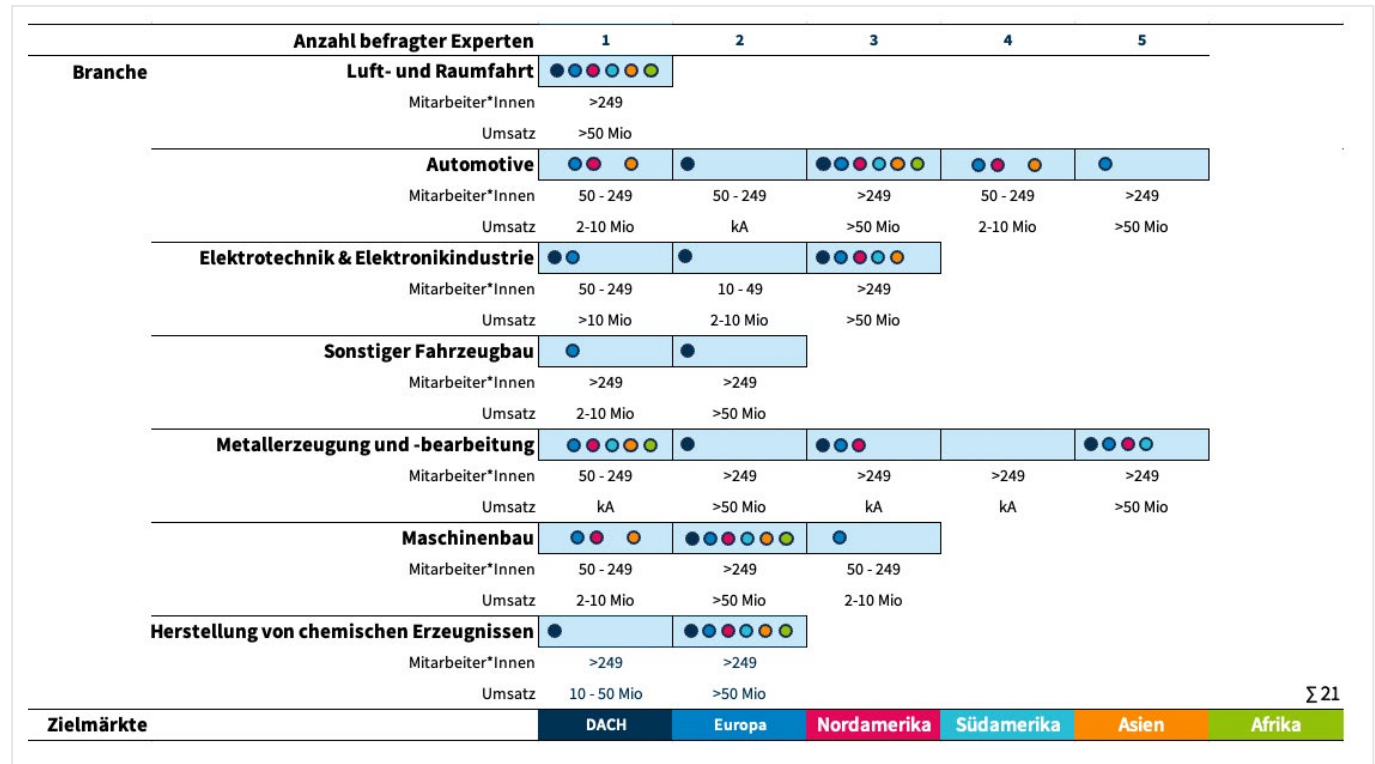


Bild 5 : Metadaten zur Expertenbefragung

In der Betrachtung der teils branchenbezogenen Auswertung sind die Antworten für den sonstigen Fahrzeugbau sowie die Luft- und Raumfahrt zusammengefasst. Dies erfolgt gemäß der Definition der Wirtschaftszweige. Fehlt in diesen Darstellungen eine Branche, liegen keine Expertenantworten für die jeweilige Fragestellung vor.

Als Gesamtziel hält die Expertenbefragung die aktuellen Herausforderungen und Potentiale in der Instandhaltung quantitativ fest. Das nachfolgende Kapitel zeigt die wesentlichen Ergebnisse, um die eingangs genannten Forschungsfragen zu beantworten.

# Ergebnisse

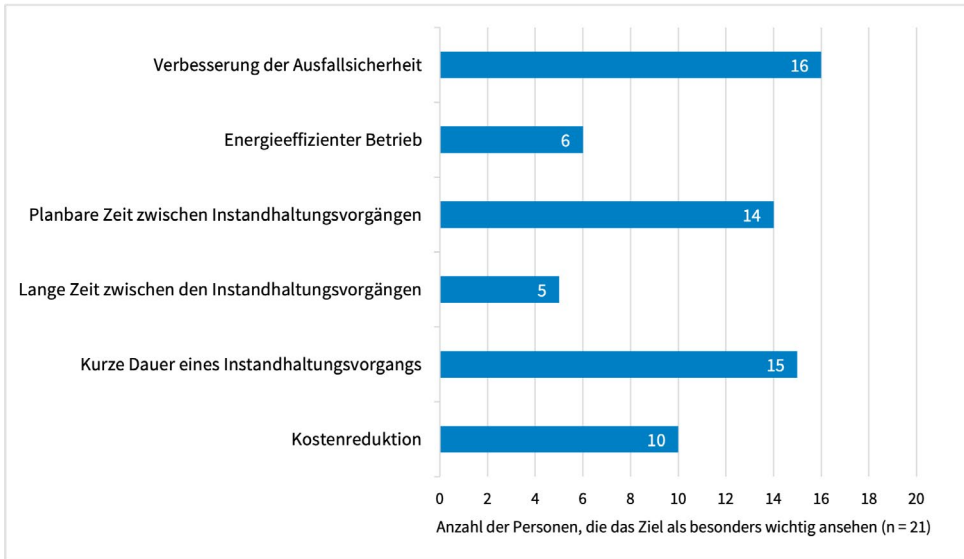


Bild 6: Ziele der Instandhaltung

Im Rahmen der Durchführung spielen darüber hinaus die planbare Zeit zwischen Instandhaltungsvorgängen als auch die Dauer der eigentlichen Tätigkeit eine wesentliche Rolle.

Um diese Ziele zu erreichen, gibt es einige Bereiche mit sichtbaren Verbesserungspotentialen. Die Befragung verdeutlicht die aktuellen Herausforderungen des Fachkräftemangels, da ein branchenübergreifender Bedarf an Mitarbeitenden vorliegt. Dabei steht sowohl die einfache Verfügbarkeit von Personal als auch die ausbaufähige Qualifizierung zu Fachkräften im Vordergrund.

## Ziele und Potentiale

Die Expertenbefragung ermittelt die wichtigsten Ziele in der Instandhaltung und zeigt, dass insbesondere die Planbarkeit von Instandhaltungsvorgängen eine hervorgehobene Rolle spielt. Dazu gehört sowohl die Planbarkeit hinsichtlich des Ausfalls von Maschinen und Anlagen als auch die Zeit zwischen den Instandhaltungsvorgängen.

Ein möglichst langer sowie energieeffizienter Betrieb stehen dabei weniger im Fokus, als dass die Anlagen schnell wieder ihren Betrieb aufnehmen. Dafür akzeptieren die Befragten auch erhöhte Kosten des Instandhaltungsvorgangs. Diese zu reduzieren ist dabei wesentlich weniger relevant für die durchführenden Mitarbeitenden als für die Planungsebenen, sei es strategisch oder operativ. Die operative Einsatzplanung versucht ungeplante Ausfälle weitgehend zu vermeiden, um die Einsatzplanung zu erleichtern.

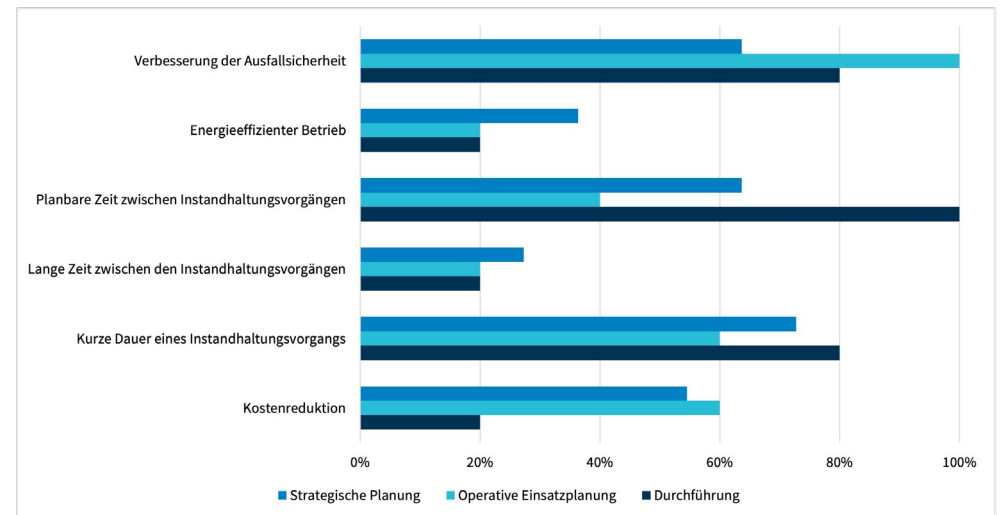


Bild 7: Relevante Ziele in der Instandhaltung für einzelne Aufgabenbereiche

Neben dem Personaleinsatz ist auch die Ersatzteilverfügbarkeit ein kritisches Thema. Insbesondere die Befragten aus dem Bereich Maschinenbau sehen hier großes Verbesserungspotential, aber auch für den sonstigen Fahrzeugbau und Automotive liegt Bedarf zur Nachbesserung vor. Noch problematischer sind für diese beiden Branchen allerdings fehlende Informationen über die aktuelle Auftragsauslastung. Digitale Lösungen ermöglichen es, die aufgezeigten Potenziale zu realisieren. Ein digitales Ersatzteilmanagement, das mit dem Digitalen Zwilling verknüpft ist, optimiert beispielsweise die Verfügbarkeit von Ersatzteilen. Allerdings zeigt Bild 9, dass viele Unternehmen den Digitalen Zwilling noch nicht einsetzen. Auch wenn ein digitales Ersatzteilmanagement implementiert ist, hängt dessen Effektivität von einer korrekten Informationsversorgung desselben ab. Externe Systeme stellen die erforderlichen Daten bereit und orchestrieren sie mittels des Digitalen Zwillings. Sind die Informationen unzureichend oder falsch, führt das zu einer inadäquaten Ersatzteilplanung.

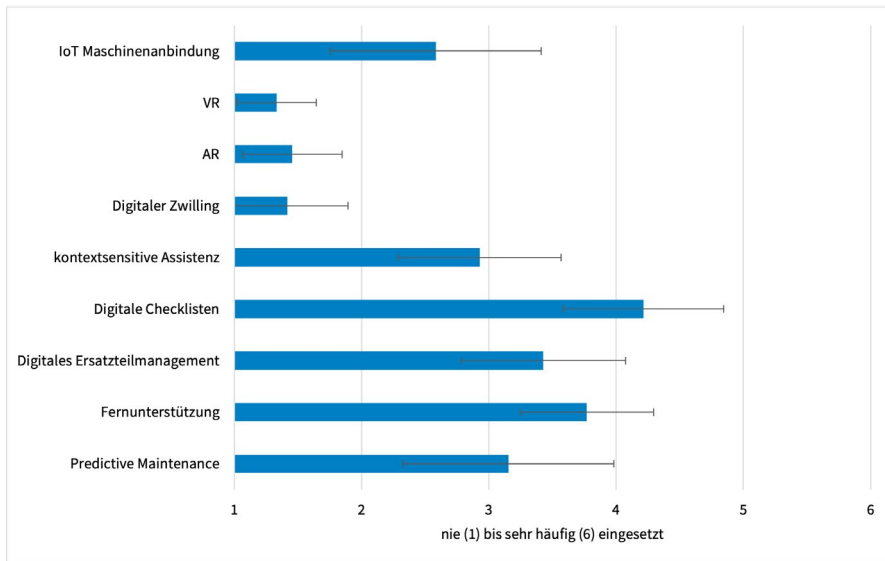


Bild 9: Aufwände während eines Instandhaltungsvorgang

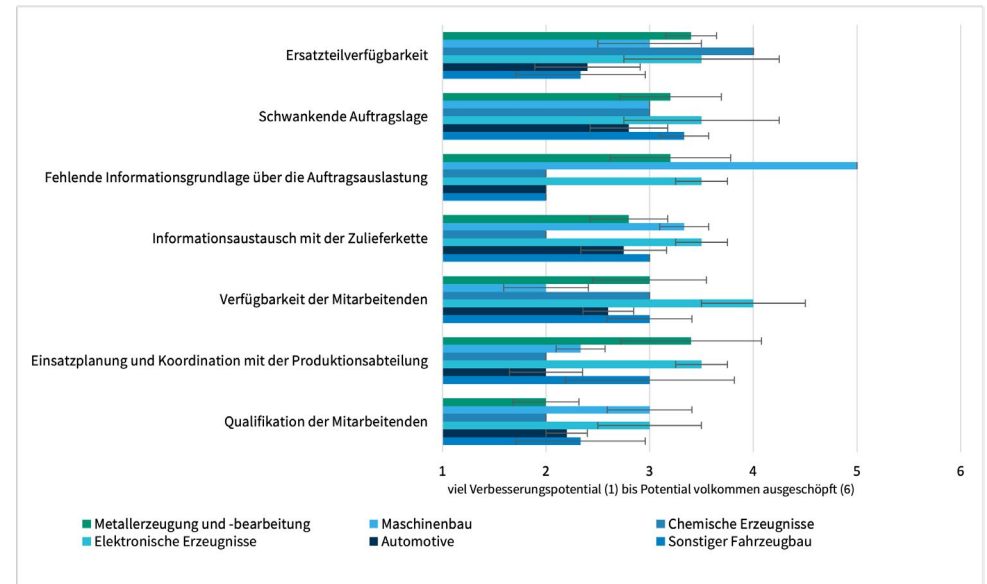


Bild 8: Verbesserungspotentiale nach Branche

Der Einsatz digitaler Assistenzsysteme löst zwar nicht das Verfügbarkeitsproblem von Mitarbeitenden, unterstützt aber bei komplexen Prozessen. Die Ergebnisse der Untersuchung legen nahe, dass Unternehmen Assistenzsysteme in statischer Form durchaus nutzen. Allerdings stellt die Datenverwaltung auch eine Herausforderung dar: Einerseits müssen statische Assistenzsysteme aktuell gehalten werden, andererseits ist eine nahtlose Weiterverarbeitung der eingegebenen Daten wichtig. Hier schaffen Assistenzsysteme in dynamischer Form Abhilfe, allerdings sind diese deutlich komplexer zu implementieren und Unternehmen setzen sie entsprechend seltener ein.

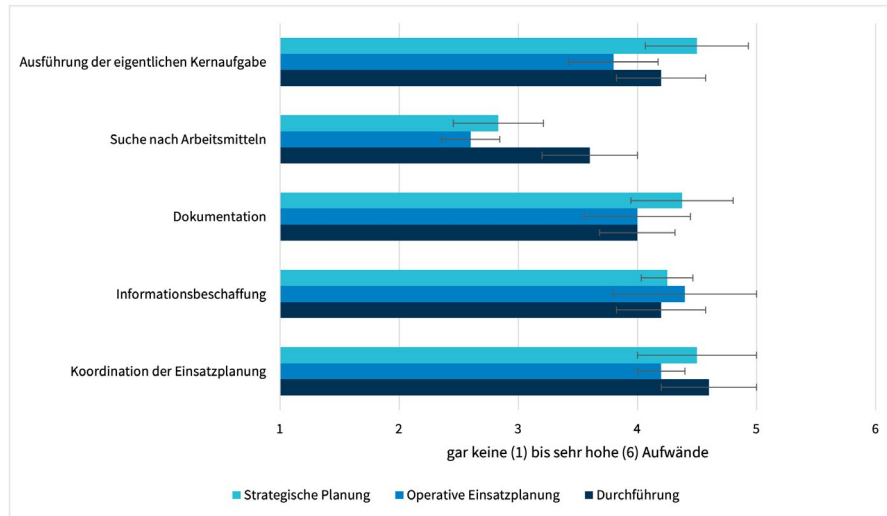


Bild 10: Aufwände während eines Instandhaltungsvorgang

Trotz durchaus unterschiedlichem Verständnis über die eigentlichen Aufwände während eines Instandhaltungsvorgangs eint alle Beteiligten die Einschätzung zur Ausführung der Kernaufgabe. Diese Aufwände sind ähnlich hoch wie für andere Aufgaben, stellen dabei jedoch den einzig wertschöpfenden Anteil dar. Ein Blick auf die Einschätzung von Einsparpotentialen im Rahmen der Instandhaltung verstärkt diesen Eindruck. Die Befragten sehen sowohl in der Instandsetzung, Wartung als auch Inspektion von Maschinen und Anlagen den Einsatz von Maßnahmen zur Einsparung von nicht wertschöpfenden Tätigkeiten als sinnvoll an.

### Aufwände und Herausforderungen

Eine detaillierte Betrachtung der Aufwände und Herausforderungen in der Instandhaltung identifiziert die aktuellen Problembereiche genauer als es in bisherigen Untersuchungen geschehen ist. In Abhängigkeit zu der zu bewältigenden Aufgabe innerhalb der Instandhaltung gibt es unterschiedliche Ansichten über die Gründe für die hohen Aufwände. Im Rahmen der operativen Einsatzplanung nehmen die Befragten insbesondere die Informationsbeschaffung sowie die Dokumentation als aufwandsintensiv wahr. Diesen Eindruck teilt auch die strategische Planung. Die Durchführung sieht hierbei allerdings einen vergleichsweise geringen Aufwand und setzt ihn gleich mit der Suche nach Arbeitsmitteln. Die operative und strategische Planung bewerten diesen Aufwand als weniger relevant.

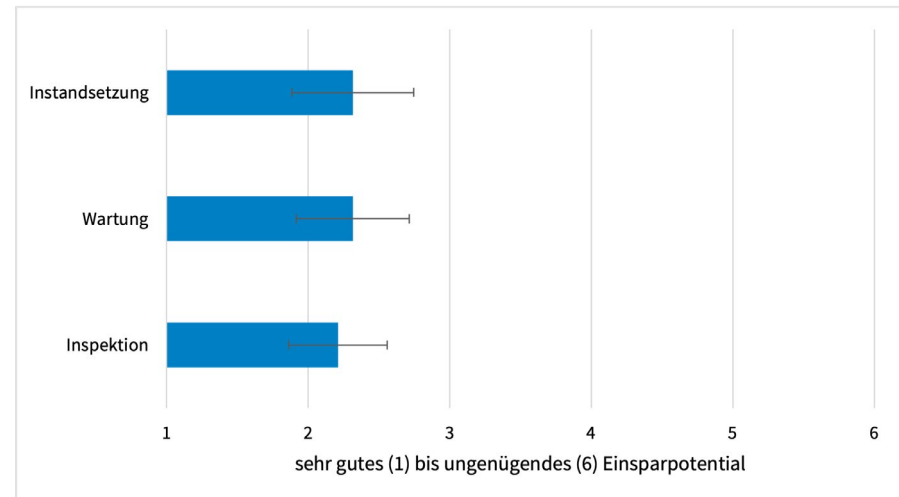


Bild 11: Reduzierung nicht wertschöpfender Aufwände

Bei Betrachtung konkreter Herausforderungen im Rahmen der Kernaufgabe sticht die Ersatzteilverfügbarkeit erneut hervor. Insbesondere im Automotive-Bereich sowie im sonstigen Fahrzeugbau stellt dies häufig eine Herausforderung dar. Die fehlende Verfügbarkeit gilt dabei nicht nur für Ersatzteile, sondern auch für Werkzeuge, wenn auch in geringerem Ausmaß. Der Umgang mit dem jeweiligen Werkzeug oder Ersatzteil ist dahingegen weniger kritisch. Das spricht entweder für eine ausreichende Qualifikation der Fachkräfte oder dafür, dass nachvollziehbare Handlungsanweisungen und Informationen zur Durchführung des Instandhaltungsvorgangs vorliegen.

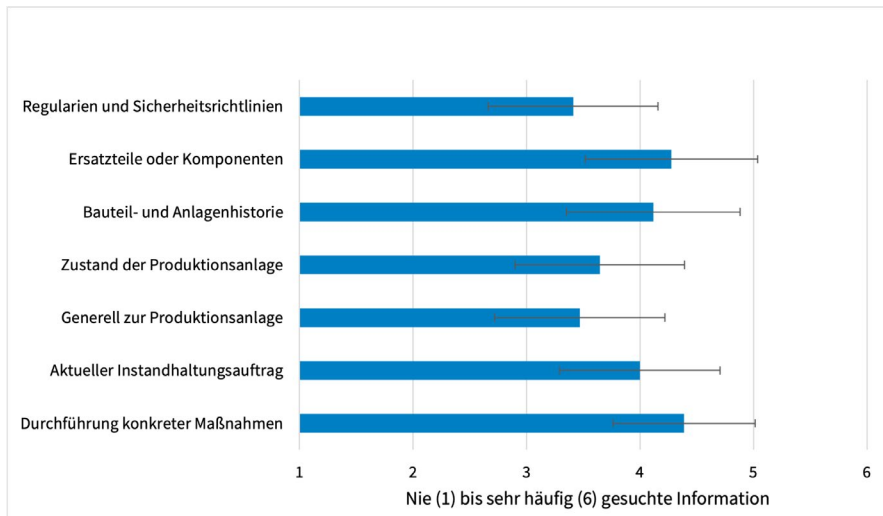


Bild 13: Gesuchte Informationen im Kontext von Instandhaltungsaufträgen

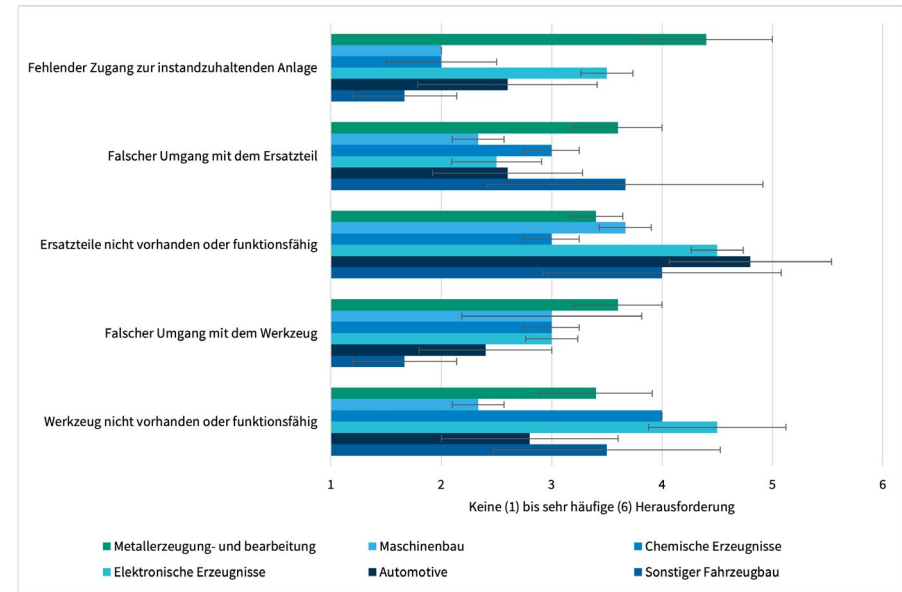


Bild 12: Häufige Herausforderungen im Umgang mit Arbeitsmitteln und Maschinen

### Information und Qualifikation

Ein Blick auf die gesuchten Informationen im Kontext von Instandhaltungsaufträgen verweist wiederum auf das Thema Ersatzteile. Informationen zu Ersatzteilen und Komponenten suchen die Befragten am häufigsten.

Ähnlich relevant sind Informationen zur Bauteil- und Anlagenhistorie. Diese helfen dabei, das vorliegende Problem einzuschätzen und schnell eine Lösung zu finden. Grundsätzlich verdeutlicht die Befragung, dass instandhaltungsbezogene Informationen überdurchschnittlich häufig gesucht werden, nach fundamentalen Informationen zum Instandhaltungsauftrag sowie zu Regularien und Sicherheitsrichtlinien dahingegen weniger häufig. Regularien und Sicherheitsrichtlinien sind dabei hauptsächlich seitens der strategischen Planung von Interesse.

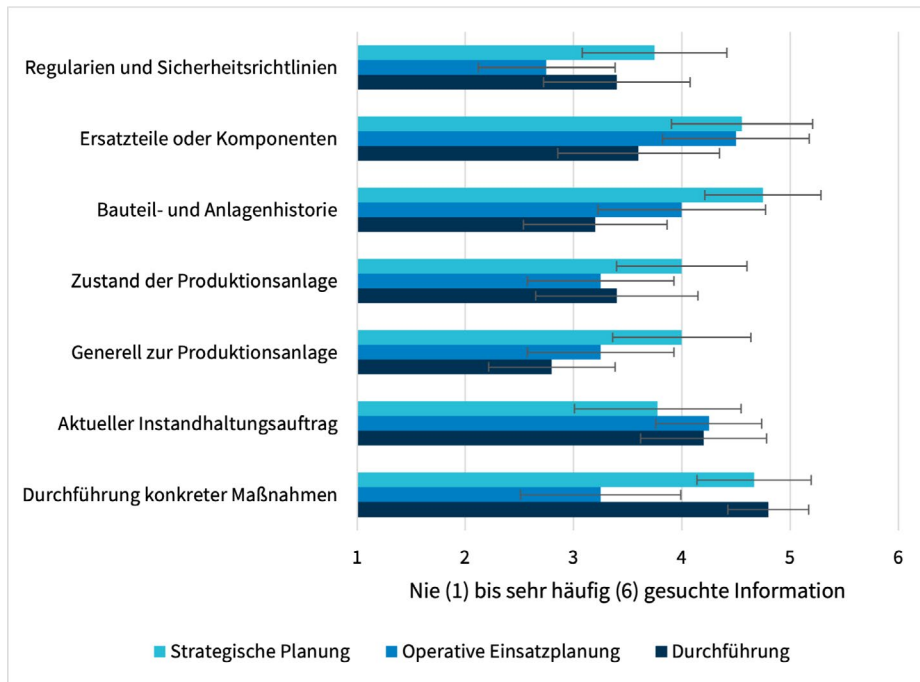


Bild 14: Gesuchte Informationen je nach Aufgabenbereich

Die Frage nach der Strukturierung der Informationen steht unabhängig davon, ob es sich um digitale oder analoge Informationen handelt. Nur weil Informationen digital vorliegen, sind sie nicht automatisch einfach und intuitiv zu handhaben. Auch hier müssen Maßnahmen ergriffen werden, um eine saubere Datenstruktur zu gewährleisten. Die Qualität der Datenstruktur im Zusammenhang mit der Häufigkeit der gesuchten Informationen verdeutlicht, dass befragte Personen mit mangelhafter Datenstruktur in ihrem Unternehmen vermehrt Suchanfragen stellen. Das zeigt der Vergleich der Häufigkeit gesuchter Informationen bei guter/sehr guter sowie bei mangelhafter/ungenügender Datenqualität.

Es fällt zudem auf, dass generelle Informationen zur Produktionsanlage aus Sicht der Durchführung seltener gesucht werden. Dieser Aufgabenbereich legt den Fokus eher auf Informationen zur Umsetzung konkreter Maßnahmen. Ob Daten analog oder digital vorliegen, spielt für das Datenmanagement eine große Rolle, da dies verschiedene Möglichkeiten im Umgang mit Datensätzen eröffnet. Die Befragung zeigt, dass die meisten Branchen einen gewissen Anteil an Informationen digital verwalten. Insbesondere der Maschinenbau sticht hier hervor, wie Bild 15 verdeutlicht. Gar nicht vertreten ist hier der sonstige Fahrzeugbau. Informationen liegen in dieser Branche meist noch analog oder nur teilweise digitalisiert vor.

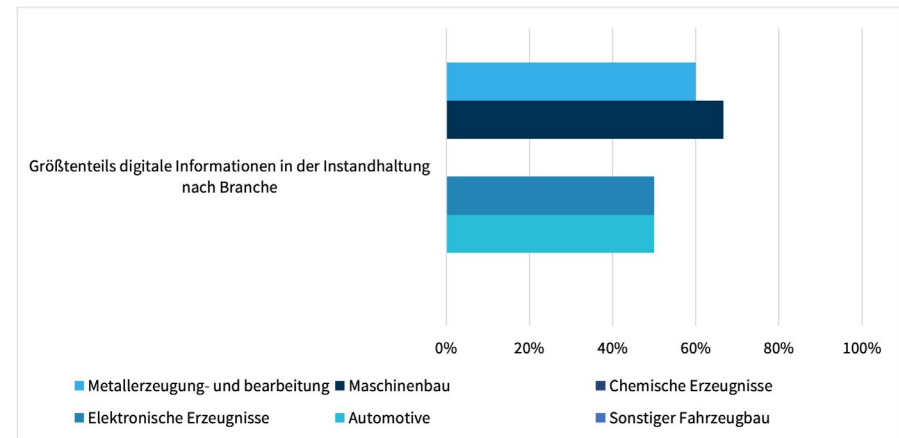


Bild 15: Größtenteils digitale Informationen nach Branche

Bei subjektiv als gut eingeschätzter Datenqualität macht es keinen Unterschied für die Instandhaltenden. Sie geben eine mittlere Suchhäufigkeit an. Werden Datenstrukturen jedoch als schlecht wahrgenommen, dann ist die Suchhäufigkeit bei analogen Strukturen höher als bei digital hinterlegten Informationen.

Die Bereitstellung von Informationen spielt nicht nur in der Planung oder Durchführung von Instandhaltungstätigkeiten eine Rolle, sondern auch bei der Qualifizierung der eigenen Mitarbeitenden. Unterschiedliche Qualifikationsmaßnahmen ziehen verschiedene Formate der Informationsbereitstellung nach sich. Dabei zählen Schulungen und Weiterbildungen zu den am häufigsten eingesetzten Maßnahmen.

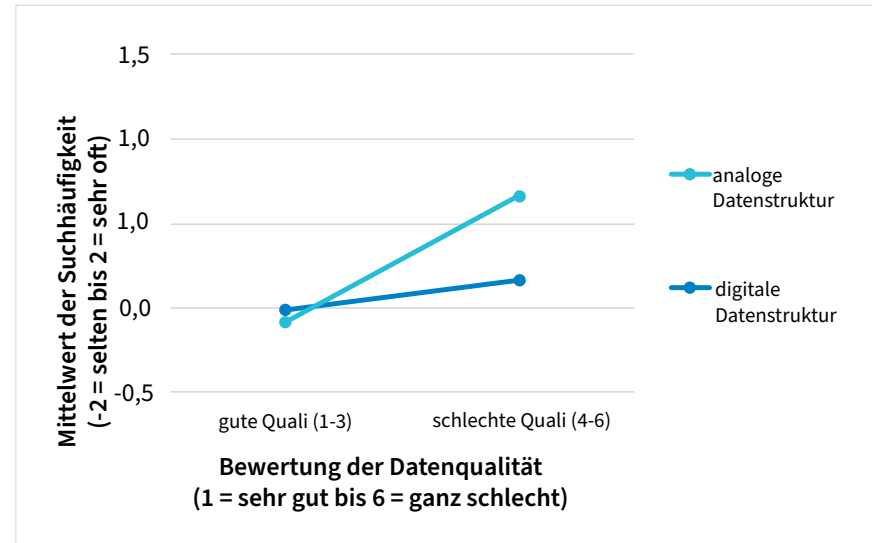


Bild 16: Die Suchhäufigkeit von Informationen bei gut oder schlecht wahrgenommener Datenstrukturqualität und ihr Unterschied zwischen vorwiegend analog und digitalen Strukturen, in denen die Informationen gesucht werden.

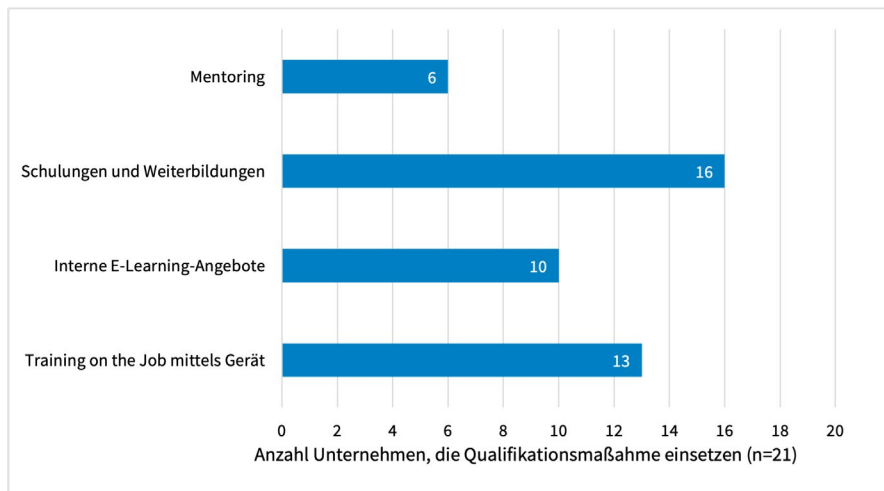


Bild 17: Qualifikationsmaßnahmen in Unternehmen

„Training on the Job“ mittels Gerät ist dabei eine häufig eingesetzte Maßnahme. Selten findet hingegen ein Mentoring weiterzubildender Personen statt. Die Befragten aus verschiedenen Aufgabenbereichen beurteilen die Qualifikationsmaßnahmen durchaus unterschiedlich. Sowohl die operative Einsatzplanung als auch die Durchführung schreiben dem Training on the Job mit einem zusätzlichen Gerät größte Bedeutung zu. Die strategische Planung sieht den Einsatz solcher Geräte ebenfalls als sinnvoll an, sieht im Mentoring jedoch eine geeignetere Qualifizierungsmaßnahme. Die operative Einsatzplanung bevorzugt dagegen, interne E-Learning-Angebote bereitzustellen.

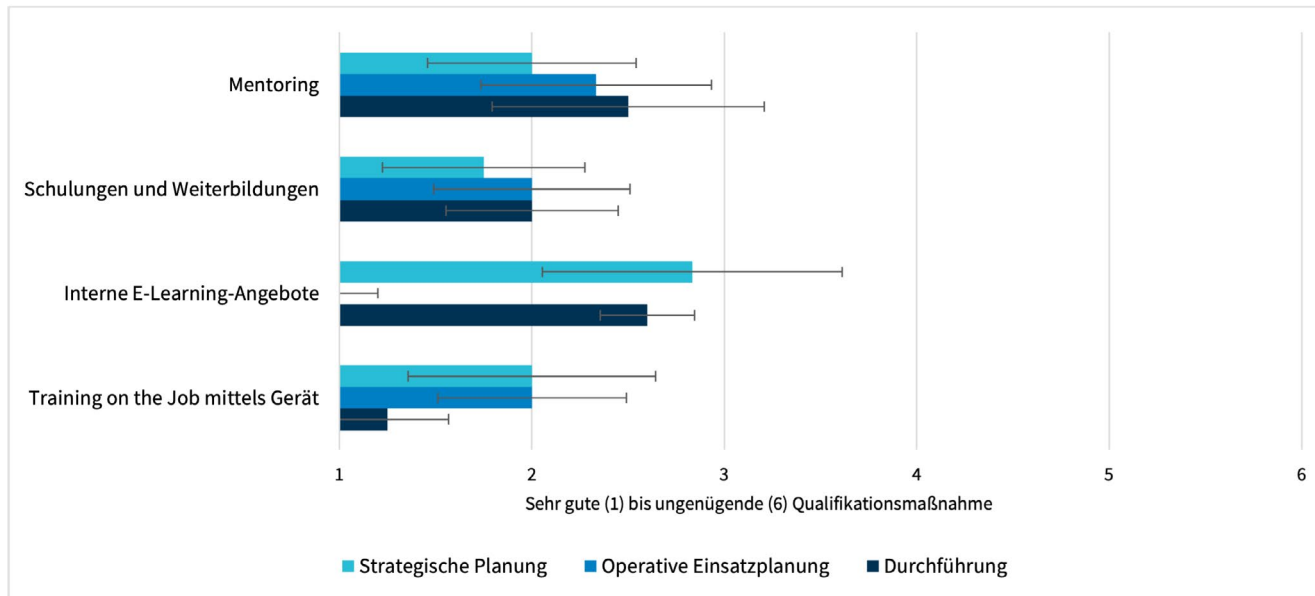


Bild 18: Beurteilung von Qualifikationsmaßnahmen

### Fazit

Die Expertenbefragung identifiziert drei Schwerpunkte: den Personaleinsatz, die konkreten Herausforderungen im Arbeitsalltag sowie das Informationsmanagement.

In der **Mitarbeiterqualifikation** liegen demnach große Verbesserungspotentiale. Dabei sehen die Befragten den Einsatz digitaler Geräte als beste Qualifikationsmaßnahme an. Eine wesentliche Herausforderung ist der richtige Umgang mit Ersatzteilen sowie Werkzeugen, bei denen solche Geräte den Mitarbeitenden assistieren. Die befragten Personen empfinden auch die **Ersatzteilverfügbarkeit** als große Herausforderung. Hier unterstützt in einigen Fällen bereits ein digitales Ersatzteilmanagement, welches nur bedingt

Abhilfe schafft. Grundlage für die erfolgreiche Integration digitaler Assistenzsysteme ist ein auf das Unternehmen abgestimmtes Informationsmanagement, denn die **Suche nach Informationen** nimmt derzeit einen Großteil der Arbeitszeit ein, wobei digital vorliegende Informationen schneller gefunden werden. Dadurch nimmt die Informationssuche weniger Arbeitszeit in Anspruch. Unternehmen speichern Informationen teils digital teils analog – Viele setzen nach wie vor auf analoge Datenspeicherung. Digitale Daten zu strukturieren ist zwar grundsätzlich schwieriger, reduziert den Suchaufwand jedoch merklich.

# 16 von 21

Unternehmen setzen Schulungen und Weiterbildungen als Qualifikationsmaßnahme ein.

# Einsatz digitaler Lösungen

Wie eingangs erwähnt, adressieren digitale Lösungen die genannten Themen und helfen, die Herausforderungen zu bewältigen. Das Beispiel eines produzierenden Unternehmens verdeutlicht den Mehrwert des ganzheitlichen Einsatzes bestehender digitaler Lösungen: Der Hersteller sieht sich vermehrt mit ungeplanten Maschinenstillständen konfrontiert, die zu erheblichen Produktionsverlusten führen. Die komplexen Anlagen erfordern regelmäßige und spezialisierte Instandhaltungsmaßnahmen, doch der Mangel an qualifiziertem Fachpersonal erschwert deren Umsetzung. Dies löst eine Kettenreaktion aus, in deren Folge Maschinen ungeplant ausfallen, kurzfristige Reparaturen hohe Wartungskosten und fehlende Teile große Verzögerungen hervorrufen, sodass die Lagerhaltung von Ersatzteilen und Werkzeugen zunehmend ineffizient wird.

Das Unternehmen begegnet diesen Herausforderungen mit digitalen Lösungen, die auf Predictive Maintenance, Fernwartung und die Einführung von Assistenzsystemen setzen. Eine IoT-Plattform dient hierbei als zentrale Datenschnittstelle. Durch die Integration von Sensoren und die Vernetzung der Anlagen entsteht ein digitaler Zwilling, über den sich die Anlagenzustände kontinuierlich überwachen lassen. Die Plattform erfasst und analysiert die Daten mithilfe von KI, um Wartungsbedarfe vorherzusagen. Bei drohenden Problemen generiert die Plattform automatisch einen Instandhaltungsauftrag und benachrichtigt das Personal. Wartungsteams können so potenzielle Ausfälle frühzeitig erkennen und proaktiv Maßnahmen ergreifen, bevor ein tatsächlicher Ausfall entsteht.

Ein weiterer Vorteil dieser Lösung ist die Möglichkeit der Fernwartung. Instandhaltungsexpert\*innen können den Zustand der Maschinen überwachen und Probleme diagnostizieren, ohne selbst anwesend zu sein. Mithilfe von Augmented Reality (AR) und sicheren VPN-Verbindungen begleiten sie Reparaturen und leiten die Service-Kräfte an der Maschine aus der Ferne – ein besonderer Vorteil, wenn das nötige Fachwissen vor Ort fehlt. Mit der Fernwartung und Echtzeit-Kommunikation reagiert das Unternehmen effizienter auf Probleme, unabhängig von lokalen Fachkräften. Zusätzlich unterstützen Assistenzsysteme direkt das Personal an den Maschinen. Tablets und AR-Brillen bieten Schritt-für-Schritt-Anleitungen sowie aktuelle Informationen zur jeweiligen Maschine. Wearables und mobile Endgeräte fördern die einfache Kommunikation zwischen Techniker\*innen und Expert\*innen und führen auch unerfahrene Mitarbeitende sicher durch komplexe Reparaturprozesse. Das Zusammenspiel aus IoT-Plattform, Assistenzsystemen und Fernwartung erhöht damit die Effektivität und Geschwindigkeit der Instandhaltungsmaßnahmen erheblich.





Auch das Ersatzteil- und Werkzeug-Management profitiert von der neuen Lösung: Die IoT-Plattform überwacht die Bestände an Ersatzteilen und Werkzeugen automatisch und löst Nachbestellungen aus, sobald der Bestand kritische Grenzen unterschreitet. Das reduziert Verzögerungen durch fehlende Teile und Techniker\*innen können sich darauf verlassen, dass das nötige Equipment vor Ort bereitsteht. Diese ganzheitliche Lösung minimiert ungeplante Stillstände und Reparaturkosten, erhöht die Maschinenverfügbarkeit und verbessert durch verlässliche Prozesse die Produktionsqualität. Mit einer kosteneffizienten, präzisen und ressourcenschonenden Instandhaltung seiner Anlagen sichert sich das Unternehmen einen Wettbewerbsvorteil im Markt.

# Literaturverzeichnis

- [1] Siemens AG (Hg.) (2022): The True Cost of Downtime 2022. URL: <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:3d606495-dbe0-43e4-80b1-d04e27ada920/dics-b10153-00-7600truecostofdowntime2022-144.pdf> (Access: 01.11.2024).
- [2] RINGFEDER POWER TRANSMISSION GMBH (Hg.) (2016): Zahlen und Fakten zu Wartung und Instandhaltung. URL: <https://blog.ringfeder.com/de/wartung-instandhaltung-zahlen-und-fakten> (Access: 01.11.2024).
- [3] Al-Najjar, Basim; Algabroun, Hatem; Jonsson, Mikael: Maintenance 4.0 to fulfil the demands of Industry 4.0 and Factory of the Future. *International Journal of Engineering Research and Applications* 8 (2018) 11, pp. 20 - 31.
- [4] Müller, Vinzenz; Mönchinger, Stephan; Fiocco Colombo, Giovanna; Biegler, Max; Rethmeier, Michael: Adaptive Reparatur-Prozesskette. *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* 118 (2023) 1-2, pp. 26 - 29.
- [5] SPIE RODIAS GmbH (Hg.) (2024): Instandhaltungsstrategien – wo stehen Sie heute? Wo wollen Sie hin? URL: <https://www.spie-rodias.de/eam-excellence/instandhaltungsstrategien/> (Access: 01.11.2024).
- [6] Liyanage, Jayantha P.; Badurdeen, Fazleena; Ratnayake, R. ChandimaM. (2009): Industrial Asset Maintenance and Sustainability Performance: Economical, Environmental, and Societal Implications. In: M. Ben-Daya (Hg.): *Handbook of maintenance management and engineering*. London, New York: Springer, pp. 665 - 693. URL: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-84882-472-0\\_24](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-84882-472-0_24).
- [7] Manfred Godek (2021): So kalkulieren Sie Ihre Instandhaltungskosten richtig. Hg. v. verlag moderne industrie GmbH. URL: <https://www.instandhaltung.de/organisation/wie-sie-ihre-instandhaltungskosten-richtig-kalkulieren-388.html>, last update 24.01.2022 (Access: 01.11.2024).
- [8] Easyfairs Group (Hg.) (2023): Fachkräftemangel regiert weiterhin den Arbeitsmarkt. URL: <https://www.maintenance-dortmund.de/2023/04/18/fachkraeftemangel-regiert-weiterhin-den-arbeitsmarkt-viele-offene-stellen-auch-bei-der-instandhaltung/> (Access: 01.11.2024).
- [9] VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (Hg.) (2020): Alte Maschinen für die Zukunft rüsten. URL: <https://der-maschinenbau.de/allgemein/alte-maschinen-fuer-die-zukunft-ruesten/> (Access: 01.11.2024).
- [10] Jahns, Denis: Nachhaltige Instandhaltung. Vom Leitbild zur Operationalisierung in der chemischen Industrie. Dissertation. Dortmund.
- [11] Uhlmann, E.; Laghmouchi, A.; Hohwieler, E.; Geisert, C.: Condition Monitoring in the Cloud. *Procedia CIRP* 38 (2015), pp. 53 - 57.

- [12] Uhlmann, Eckart; Polte, Julian; Geisert, Claudio; Rauch, Hartmut; Brach, Karsten: Smarte Überwachung elektrischer Großantriebe/Smart monitoring large electric drives. *wt* 113 (2023) 07-08, pp. 340 - 345.
- [13] Tsai, Chun-Wei; Lai, Chin-Feng; Chao, Han-Chieh; Vasilakos, Athanasios V.: Big data analytics: a survey. *Journal of Big Data* 2 (2015) 1.
- [14] Haris, Mohammad; Khan, Rafiqul Zaman: A Systematic Review on Cloud Computing. *ijcse* 6 (2018) 11, pp. 632 - 639.
- [15] Crespi, Noël; Drobot, Adam T.; Minerva, Roberto (Hg.) (2023): *The Digital Twin*. 1st edition. Cham: Springer.
- [16] Mügge, Janine; Seegrün, Anne; Hoyer, Tessa-Katharina; Riedelsheimer, Theresa; Lindow, Kai: Digital Twins within the Circular Economy: Literature Review and Concept Presentation. *Sustainability* 16 (2024) 7, p. 2748.
- [17] Wolfartsberger, Josef; Zenisek, Jan; Wild, Norbert: Data-Driven Maintenance: Combining Predictive Maintenance and Mixed Reality-supported Remote Assistance. *Procedia Manufacturing* 45 (2020), pp. 307 - 312.
- [18] Kiangala, Kahiomba Sonia; Wang, Zenghui: An experimental hybrid customized AI and generative AI chatbot human machine interface to improve a factory troubleshooting downtime in the context of Industry 5.0. *Int J Adv Manuf Technol* 132 (2024) 5-6, pp. 2715 - 2733.
- [19] Metternich, Joachim; Sträter, Oliver; Keller, Thimo; Schmidt, Stephanie; Bayer, Christian; Saki, Mehrach et al. (Hg.) (2020): *Digitale Assistenz für die Produktion. Ein Leitfaden für die Bedarfsermittlung, Gestaltung und Einführung*: Technische Universität Darmstadt; Universität Kassel; Ffw GmbH; mikrolab Entwicklungsgesellschaft für Elektroniksysteme; DATRON AG; Trilux GmbH und Co. KG; Bright Solutions GmbH. Frankfurt am Main: VDMA Verlag GmbH.
- [20] Eversberg, Leon; Ebrahimi, Puya; Pape, Martin; Lambrecht, Jens: A cognitive assistance system with augmented reality for manual repair tasks with high variability based on the digital twin. *Manufacturing Letters* 34 (2022), pp. 49 - 52.
- [21] Fidalgo, Catarina G.; Yan, Yukang; Cho, Hyunsung; Sousa, Mauricio; Lindlbauer, David; Jorge, Joaquim: A Survey on Remote Assistance and Training in Mixed Reality Environments. *IEEE Trans. Visual. Comput. Graphics* PP (2023) 5, pp. 2291 - 2303.
- [22] Freydank, Erik; Kießling, Nora; Konkol, Kathrin (2024): Volumetric Videos in Extended Reality for enhanced Trainings in Industry. In: *Proceedings of the 17th International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments*. PETRA ,24: The Pervasive Technologies Related to Assistive Environments Conference. Crete Greece, 26 06 2024 28 06 2024: Association for Computing Machinery (ACM Digital Library), pp. 676 - 677.
- [23] Krzywdzinski, Martin; Pfeiffer, Sabine; Evers, Maren; Gerber, Christine: Measuring work and workers: Wearables and digital assistance systems in manufacturing and logistics (2022).

- [24] Uhlmann, Eckart; Bösing, Manuel; Polte, Julian; Kirsch, Lucas; Altmann, Ian; Emmerling, Roman: Agiles Modellieren von Servicetätigkeiten (2021).
- [25] Joost, Robert; Mönchinger, Stephan; Engeländer, Lukas; Lindow, Kai (2023): Automated 2D-3D-Mapping and Assessment of Defects Obtained from 2D Image Detection on a 3D Model for Efficient Repair of Industrial Turbine Blades. In: Steffen G. Scholz (Hg.): Sustainable Design and Manufacturing 2023 : Proceedings of the 10th International Conference on Sustainable Design and Manufacturing (KES-SDM 2023), Bd. 377. Singapore: Springer (Smart Innovation, Systems and Technologies), pp. 79 - 89.
- [26] Uhlmann, Eckart; Polte, Julian; Domingos, David Carlos; Neuwald, Tobias; Fasselt, Janek Maria; Reis de Ascencao, Gustavo; Baumgarten, Jeannette: Additive Manufacturing enabling advanced tool, die and mold making. Market and technology report 2022. Unter Mitarbeit von Fraunhofer-Gesellschaft, 2024.
- [27] An, Xiangxin; Si, Guojin; Xia, Tangbin; Liu, Qinming; Li, Yaping; Miao, Rui: Operation and Maintenance Optimization for Manufacturing Systems with Energy Management. *Energies* 15 (2022) 19, p. 7338.

## Impressum

### Autor\*innen

Manuel Bösing  
manuel.boesing@ipk.fraunhofer.de

Claudio Geisert  
claudio.geisert@ipk.fraunhofer.de

Dr. Elisabeth Brandenburg  
Elisabeth.Brandenburg@contact-software.com

### Kontakt

CONTACT Software GmbH  
Wiener Straße 1–3, 28359 Bremen, Germany  
www.contact-software.com

Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen und  
Konstruktionstechnik IPK  
Pascalstraße 8-9  
10587 Berlin  
www.ipk.fraunhofer.de

DOI: 10.24406/publica-4969  
<https://doi.org/10.24406/publica-4969>