

Niklas Fischer

Immatrikulationsnummer.:

Straße Weg

PLZ Ort

E-Mailadresse:

Exposé

Quality 4.0:

Untersuchung von Herausforderungen bei der Implementierung von
Quality 4.0 in kleinen und mittleren Unternehmen am Beispiel einer
Fallstudie aus der Fertigungsindustrie

Betreuer:

Inhaltsverzeichnis

1. Problemstellung	1
2. Stand der Forschung.....	3
3. Ziel der Arbeit.....	6
4. Fragestellung(en).....	6
5. Beschreibung der Methodik.....	7
6. Gliederungsentwurf.....	7
I. Literaturverzeichnis.....	III

1. Problemstellung

Wer an moderne Produktionshallen denkt, hat oft ein klares Bild vor Augen: Roboterarme, die im Takt der Maschinen arbeiten, Fertigungsmitarbeiter, die mithilfe von digitalen Endgeräten komplexe Montageprozesse durchführen, und vernetzte Systeme, die Fertigungsprozesse in Echtzeit steuern, Daten automatisch erfassen, Fehler erkennen und Abläufe kontinuierlich optimieren und fehlerhafte Teile automatisch aussortieren.

Die Vision der „Smart Factory“ scheint längst Realität zu sein. Doch ein genauer Blick in viele Betriebe, insbesondere in kleinen und mittleren Unternehmen, offenbart ein anderes Bild: Papiergebundene Prozesse, handschriftliche Prüfvermerke und fragmentierte Excel-Tabellen bestimmen weiterhin den Alltag. Während Bereiche wie die Buchhaltung, Logistik, Vertrieb und Einkauf längst von digitalen Prozessen durchdrungen sind, bildet die Produktion weiterhin das digitale Schlusslicht.¹

Die digitale Transformation der Produktion wird als „Industrie 4.0“ bezeichnet.

Unter diesem Schlagwort werden Technologien wie (Industrial) Internet of Things, künstliche Intelligenz, Big Data, Cyber-Physische Systeme in die Fertigung integriert.²

Diese Entwicklung hat weitreichende Auswirkungen auf sämtliche Unternehmensbereiche und beeinflusst insbesondere auch das Qualitätsmanagement, dessen strategische Bedeutung in Zeiten komplexerer und stärker individualisierter Produkte weiter zunimmt.³

Für produzierende Unternehmen nimmt insbesondere die Qualitätssicherung einen hohen Stellenwert ein. Werden Fehler nicht rechtzeitig identifiziert, kann dies zu teuren Nacharbeiten, Verspätungen oder schlechter Kundenzufriedenheit führen.

Das Fehlen durchgängiger digitaler Erfassung und Verarbeitung von Qualitätsdaten führt dazu, dass Echtzeitinformationen, Rückverfolgbarkeit und systematisches Lernen aus Fehlern kaum möglich sind. Insgesamt bleibt die Qualitätssicherung dadurch oft reaktiv, was sich negativ auf Produktqualität, Kundenzufriedenheit und Wettbewerbsfähigkeit auswirken kann.⁴

¹ Vgl. Bundesnetzagentur (2020), S. 20

² Vgl. Bayer und Bauer (2023), S. 470

³ Vgl. Sader et al. (2021), S. 9

⁴ Vgl. Zürn und Lücken (2020), S. 250

Die Weiterentwicklung des Qualitätsmanagements durch Technologien der Industrie 4.0 wird als Quality 4.0 bezeichnet.⁵ Das Konzept wurde erstmals im Jahr 2015 beschrieben und zielt darauf ab, durch den Einsatz digitaler Sensorik, automatisierter Prüfsysteme und datenbasierter Analyseverfahren eine kontinuierliche, in Echtzeit ablaufende Qualitätssicherung zu ermöglichen. Dadurch können Fehlerquoten reduziert, Transparenz entlang der Wertschöpfungskette erhöht und die Wettbewerbsfähigkeit von Fertigungsprozessen langfristig gesichert werden.⁶

Trotz dieser Potenziale zeigt sich in der Praxis eine erhebliche Rückständigkeit bei der Umsetzung digitaler Technologien in der Qualitätssicherung. In einer Studie gaben knapp 70 Prozent der befragten Fachangestellten an, dass ihr Unternehmen in diesem Bereich nicht dem aktuellen Stand der Technik entspreche.⁷ Weitere Untersuchungen zeigen, dass lediglich 16 Prozent der befragten Organisationen bereits mit der Implementierung von Quality-4.0-Maßnahmen begonnen haben, während 63 Prozent angeben, noch nicht einmal mit der Planung entsprechender Initiativen gestartet zu haben.⁸

Dieses Verharren auf alten Methoden ist in Hinblick auf die hohe Bedeutung der industriellen Produktion für die deutsche Volkswirtschaft besonders problematisch. Mit einem Anteil von rund 20 Prozent an der Bruttowertschöpfung nimmt das produzierende Gewerbe im europäischen Vergleich eine führende Rolle ein.⁹ Eine zentrale Rolle spielt dabei der deutsche Mittelstand, der als Rückgrat der Industrie gilt und zahlreiche sogenannte Hidden Champions beheimatet.¹⁰

Während Konzerne und Großunternehmen das Potenzial der Digitalisierung bereits erkannt haben und gezielt in entsprechende Technologien sowie Strategien investieren, zeigen sich kleine und mittlere Unternehmen noch zurückhaltend.¹¹

⁵ Vgl. Antony et al. (2020), S. 2 f.

⁶ Vgl. Alzahrani et al. (2021) zitiert nach Mahin et al. (2024), S. 3; vgl. Javaid et al. (2021) S.5

⁷ Vgl. Zürn und Lücken (2020), S. 249

⁸ Vgl. Brody (o.J.), zitiert nach Lindsay (2019), S. 6

⁹ Vgl. Eurostat (2025), Internetquelle

¹⁰ Vgl. Bayer und Bauer (2023), S. 470

¹¹ Vgl. Rüßmann et al. (2019), S. 268; vgl. Bayer und Bauer (2023), S. 469

In der wissenschaftlichen Literatur wird ein deutlicher Schwerpunkt auf die Möglichkeiten durch technologische Entwicklungen wie das Internet of Things, digitale Zwillinge, Robotik, Blockchain sowie Augmented und Virtual Reality gelegt. Diese Technologien finden jedoch zum aktuellen Zeitpunkt in kleinen und mittleren Unternehmen kaum Anwendung.¹²

Auch das Konzept Quality 4.0 kommt in der Praxis bislang nur begrenzt zum Einsatz.

Ein zentraler Grund dafür liegt im Mangel an realen Anwendungsbeispielen und praxisnahen Umsetzungsszenarien, die zeigen, wie das Konzept konkret in Qualitätssicherungsprozesse integriert werden kann und welche Herausforderungen zu bewältigen sind.¹³

Diese Forschungslücke greift die vorliegende Arbeit auf. Anhand einer Fallstudie wird untersucht, welchen spezifischen Herausforderungen kleine und mittlere Unternehmen der Fertigungsindustrie bei der Umsetzung von Quality 4.0 gegenüberstehen.

2. Stand der Forschung

Die digitale Transformation beeinflusst nahezu alle Bereiche der industriellen Wertschöpfung. Industrie 4.0 steht für die Integration fortgeschrittener Technologien wie Digitalisierung, Automatisierung, künstlicher Intelligenz, Sensorik und datenbasierter Entscheidungsunterstützung (Zonnenshain & Kenett, 2020).¹⁴

Sony et al. (2020) argumentieren, dass die Industrie 4.0 sämtliche Unternehmensbereiche einschließlich des Qualitätsmanagements beeinflusst und dabei neue Ansatzpunkte zur Steigerung von Leistungsfähigkeit und Innovationskraft eröffnet.¹⁵

Die Verbindung von Digitalisierung und Qualitätssicherung wird unter dem Begriff Quality 4.0 diskutiert. Ziel ist es, Qualität nicht nur als Kontrollinstanz, sondern als strategisches Element der Wertschöpfung zu etablieren (Antony et al., 2020).¹⁶

Quality 4.0 verfolgt dabei einen ganzheitlichen Ansatz, bei dem technologische Möglichkeiten zur Verbesserung von Transparenz, Reaktionsgeschwindigkeit und Prozesssicherheit beitragen

¹² Vgl. Bundesnetzagentur (2020), S. 29 f.

¹³ Vgl. Liu et al. (2023), S. 203

¹⁴ Vgl. Zonnenshain und Kenett (2020), zitiert nach Sony et al. (2021), S. 1503

¹⁵ Vgl. Sony et al. (2020), zitiert nach Sony et al. (2021), S. 1503

¹⁶ Vgl. Antony et al. (2020), S. 2 f.

(Freisinger et al., 2022).¹⁷ Mithilfe von Echtzeitüberwachung, automatisierten Prüfverfahren und intelligenten Auswertungssystemen ist eine proaktive Qualitätssteuerung möglich (Christou et al., 2022; Maganga & Taifa, 2023).¹⁸ Darüber hinaus ist eine schnelle Reaktion auf Probleme möglich, die die Produktion stoppen könnten (Javaid et al., 2021).¹⁹ Klassische Qualitätssicherungsmaßnahmen wie Stichproben und manuelle Inspektionen werden zunehmend durch sensorbasierte, automatisierte Verfahren ersetzt (Sader et al., 2021; Javaid et al. 2021).²⁰

Trotz der genannten Potenziale stellt die Digitalisierung Unternehmen vor erhebliche Herausforderungen. Die Einführung digitaler Systeme bedeutet nicht automatisch Erfolg: Wie unter anderem Björkdahl (2020) zeigt, ist der Einsatz digitaler Technologien zwar eine Voraussetzung für digitale Transformation, führt aber nicht zwangsläufig zu den gewünschten Ergebnissen.²¹

Im Kontext der Digitalisierung der Qualitätssicherung insbesondere im Rahmen von Quality 4.0 lassen sich eine Vielzahl an Herausforderungen identifizieren, die sich fünf übergeordneten Kategorien zuordnen lassen: technologischen, personellen, organisationalen, rechtlichen und strategisch-managementbezogenen Faktoren.

Technologische Herausforderungen beziehen sich vor allem auf die infrastrukturelle und datenbezogene Ausgangslage der Unternehmen. Hierzu zählen etwa die Qualität der Internetanbindung (Zimmermann, 2022) und die Überlastung durch große Datenmengen (Zürn und Lücken, 2020).²² Darüber hinaus verweisen Schönreiter (2017) und Antony et al. (2022) auf die Notwendigkeit einer strategisch fundierten Technologieauswahl und der Definition geeigneter Datenquellen.²³ Außerdem bestehen grundlegende Herausforderungen, die aus dem Industrie-4.0-Kontext übernommen werden, wie etwa Fragen der IT-Sicherheit (Zürn und Lücken, 2020), die Zuverlässigkeit vernetzter Systeme (Lu, 2017) sowie technologische

¹⁷ Vgl. Freisinger et al. (2022), zitiert nach Heister (2025), S. 124

¹⁸ Vgl. Christou et al. (2022), zitiert nach Liu et al. (2023), S. 191; Maganga und Taifa (2023), zitiert nach Liu et al. (2023), S. 191

¹⁹ Vgl. Javaid et al. (2021), S. 7 f.

²⁰ Vgl. Javaid et al. (2021), S. 5; vgl. Sader et al. (2021), S. 4

²¹ Vgl. Björkdahl (2020), S. 23 ff.

²² Vgl. Zimmermann (2022), S. 2; vgl. Zürn und Lücken (2020), S. 250

²³ Vgl. Antony et al. (2022), S. 834 f.

Rahmenbedingungen (Zhou et al. 2016).²⁴ Insellösungen erschweren zusätzlich den durchgängigen Informationsfluss, da nach Obermaier und Wagenseil (2019) Systemintegration und übergreifende Datenarchitekturen fehlen.²⁵

Personelle Herausforderungen betreffen insbesondere die Verfügbarkeit und Qualifikation von Fachkräften. Aldag und Eker (2018) zeigen, dass die Automatisierung von Qualitätsprozessen zu einem veränderten Anforderungsprofil führt: Zukünftig werden verstärkt analytische und technologische Kompetenzen benötigt, um datengetriebene Qualitätsentscheidungen interpretieren und umsetzen zu können.²⁶ Fehlendes Implementierungswissen sowie ein genereller Mangel an qualifiziertem Personal stellen nach Sony et al. (2021) zentrale Barrieren dar. Laut Antony et al. (2022) erweist sich die Alterung der Belegschaft in Verbindung mit der Einführung neuer Kommunikations- und Informationssysteme als zentrale Herausforderung.²⁷ Hinzu kommen individuelle Widerstände gegenüber technologischen Veränderungen, die häufig aus Unsicherheiten im Umgang mit neuen Systemen, der Angst vor Arbeitsplatzverlust oder einem empfundenen Bedeutungsverlust der eigenen Rolle, resultieren (Birkel et al., 2019; Antony et al., 2022).²⁸

Organisationale Herausforderungen zeigen sich vor allem in der mangelnden Integration von Quality 4.0 in bestehende Abläufe. Jacob (2017) und Antony et al. (2022) kritisieren, dass viele Qualitätsabteilungen weiterhin auf klassische Methoden und lokal begrenzte Problemlösungsstrategien zurückgreifen, während digitale Initiativen primär von IT-Abteilungen angestoßen werden.²⁹

Die Folge ist eine fragmentierte Implementierung, in der zentrale Potenziale nur unzureichend genutzt werden (Kubat, 2018).³⁰

Auch rechtliche Rahmenbedingungen stellen eine nicht zu unterschätzende Hürde dar.

So verweisen Zürn und Lücken (2020) auf datenschutzrechtliche Herausforderungen, etwa im

²⁴ Vgl. Zürn und Lücken (2020), S. 250, Zhou et al. (2016), zitiert nach Sader et al. (2021), S. 16; vgl. Lu (2017), zitiert nach Sader et al. (2021), S. 16

²⁵ Vgl. Obermaier und Wagenseil (2019), S. 205 f.

²⁶ Vgl. Aldag und Eker (2018), zitiert nach Sader et al. (2021), S. 15

²⁷ Vgl. Antony et al. (2022), S. 835

²⁸ Vgl. Birkel et al. (2019), S. 12 ff.; vgl. Antony et al. (2022), S. 835

²⁹ Vgl. Antony et al. (2022), S. 835; Vgl. Jacob (2017), zitiert nach Sader et al. (2021), S. 3

³⁰ Vgl. Kubat (2018), zitiert nach Sader et al. (2021), S. 15

Hinblick auf die Verarbeitung personenbezogener Daten durch digitale Qualitätssicherungssysteme.³¹ Hinzu kommen mitbestimmungsrechtliche Fragen, etwa wenn digitale Anwendungen zur Verhaltens- oder Leistungskontrolle eingesetzt werden können und dadurch die Mitwirkung des Betriebsrats gemäß § 87 Abs. 1 Nr. 6 BetrVG erforderlich wird.

Strategisch-managementbezogene Herausforderungen bestehen einerseits in der fehlenden Wirtschaftlichkeitsbewertung von Quality 4.0 Maßnahmen (Sony et al. 2021), andererseits auch eine unklare Umsetzungsstrategie (Zonnenshain und Kenett, 2020).³²

Trotz der genannten Herausforderungen verweisen Autoren (u.a. Zonnenshain und Kenett, 2020; Liu et al., 2023; Antony et al., 2022) darauf, dass es bis jetzt kaum Erfahrungen aus der Praxis gibt – insbesondere von kleinen und mittelständischen Unternehmen.³³

3. Ziel der Arbeit

Ziel dieser Arbeit ist es, die zentralen Herausforderungen zu identifizieren, mit denen kleine und mittlere Unternehmen (KMU) der Fertigungsindustrie bei der Implementierung von Quality 4.0 konfrontiert sind. Im Fokus stehen dabei technische, organisationale, personelle, rechtliche und strategische Aspekte. Dazu werden Erkenntnisse aus der wissenschaftlichen Literatur mit den Ergebnissen einer empirischen Fallstudie verglichen

4. Fragestellung(en)

1. Welche Herausforderungen gibt es im Zusammenhang mit der Implementierung von Quality 4.0 in KMU?
2. Welche Herausforderungen treten im Zusammenhang mit Quality 4.0 in der Praxis auf?
2. Inwiefern unterscheiden sich bisherige Erkenntnisse aus der Literatur mit Erfahrungen aus der Praxis?
3. Welche Technologien der Industrie 4.0 kommen im Rahmen von Quality 4.0 zum Einsatz und welche Vorteile bieten diese?

³¹ Vgl. Zürn und Lücken (2020), S. 250

³² Vgl. Sony et al. (2021), S. 1510; vgl. Zonnenschain und Kenett (2020), zitiert nach Sony et al. (2021), S. 1510

³³ Vgl. Antony et al. (2022), S. 844, Vgl. Zonnenschain und Kenett (2020), zitiert nach Sony et al. (2021), S. 1512, vgl. Liu et al. (2023), S. 13

5. Beschreibung der Methodik

Die Arbeit stützt sich auf eine qualitative Literaturanalyse zur systematischen Erfassung und Einordnung von Herausforderungen der Digitalisierung in der Qualitätssicherung von KMU.

Die Recherche erfolgt unter Verwendung der Suchbegriffe Qualität 4.0/Quality 4.0, KMU/SMO, Digitalisierung/Digitalization, Qualitätssicherung/Quality Assurance, Herausforderungen, /Challenges in verschiedenen Journal-Datenbanken (u.a. EBSCO und Google Scholar).

Auf Basis der Literaturanalyse werden verschiedene Thesen aufgestellt, die anschließend anhand einer Fallstudie überprüft werden.

Die Fallstudie wird in einem mittelständischen Unternehmen der industriellen Fertigung durchgeführt. Mittels leitfadengestützter Interviews mit Mitarbeitenden aus verschiedenen Abteilungen, darunter Vorarbeiter der Produktion, Fachkräfte des Qualitätsmanagements und der Qualitätssicherung sowie Vertreter der IT, und durch die Analyse relevanter Dokumente und Prozesse werden die spezifischen Herausforderungen bei der Einführung digitaler Prüfdokumente herausgearbeitet. Anschließend werden die in der Literatur identifizierten Herausforderungen den in der Praxis festgestellten Herausforderungen von Quality 4.0 gegenübergestellt.

6. Gliederungsentwurf

1. Einleitung

1.1 Relevanz des Themas

1.2 Ziele der Arbeit

1.3 Aufbau der Arbeit

2. Grundlagen

2.1 Quality 4.0

2.1.1 Definition und Entwicklung

2.1.2 Technologien

2.2 Definition kleine und mittlere Unternehmen

2.3 Definition Fertigungsindustrie sowie aktuelle Herausforderungen und Trends

3. Zentrale Herausforderungen von Quality 4.0 - Systematische Literaturrecherche

3.1 Methodik

3.2 Technische Herausforderungen

3.3 Organisatorische Herausforderungen

3.4 Personelle Herausforderungen

3.5 Wirtschaftliche Herausforderungen

3.6 Rechtliche Herausforderungen

3.7 Ableitende Thesen

4. Fallstudie

4.1 Methodik

4.2 Vorstellung des Unternehmens

4.3 Qualitätsmanagement und -sicherung im Unternehmen

4.4 Ausgangslage - Analyse der bisherigen Prozesse und Probleme

4.5 Ziele

4.6 Implementierung

4.7 Kategorienbildung der Herausforderungen

5. Diskussion der Ergebnisse

5.1 Vergleich von Herausforderungen aus Fallstudie mit Literatur

5.2 Handlungsempfehlungen

6. Schluss

6.1 Zusammenfassung

6.2 Ausblick

6.3 Kritische Reflexion

Anhang

- Interviewleitfaden
- Transkripte

I. Literaturverzeichnis

- Aldag, M. C. und Eker, B. (2018): What is quality 4.0 in the era of industry 4.0? 3rd International Conference on quality of life. Kragujevac: University of Kragujevac, S. 31-34
- Alzahrani, B., Bahaitham, H. und Andejany, M (u.a.) (2021). How ready is higher education for quality 4.0 transformation according to the LNS research framework? In: Sustainability, 13(9), 5169. Basel: MDPI
- Antony, J., Sony, M. und Cudney, E. (2020): Quality 4.0: motivations and challenges from a pilot survey in European. In: Future Factory, S. 1-7
- Antony, J., McDermott, O., Sony, M. (u.a.) (2022): Benefits, challenges, critical success factors and motivations of Quality 4.0 – A qualitative global study. In: Total Quality Management & Business Excellence, 34(7-8). London: Francis and Taylor, S. 827-846
- Bayer, M. und Bauer, F. (2023): Digitalisierung der Produktion im Mittelstand: Status quo und Handlungsempfehlungen für eine erfolgreiche Umsetzung, in: Schallmo, D. R., Lang, K., Werani, T. (u.a.) (Hrsg.): Digitalisierung – Fallstudien, Tools und Erkenntnisse für das digitale Zeitalter, Schwerpunkt Business Model Innovation. Wiesbaden: Springer Gabler, S. 469-484
- Birkel, H. S., Veile, J. W., Müller, J. M. (u.a.) (2019): Development of a Risk Framework for Industry 4.0 in the Context of Sustainability for Established Manufacturers. In: Sustainability, 2019 (11), 384. Basel: MDPI, S. 1-27
- Björkdahl, J. (2020): Strategies for Digitalization in Manufacturing Firms. In: California Management Review, 62(4). Berkeley: SAGE, S. 17-36
- Brody, B. (o.J.): Winning the Race to Quality 4.0-Part 1 (Video). ASQTV, <https://videos.asq.org/winning-the-race-to-quality-4-0-part-1>
- Bundesnetzagentur (Hrsg.) (2023): Digitalisierung und ökologische Nachhaltigkeit in Unternehmen - Eine vergleichende Betrachtung von KMU und Großunternehmen. Bonn: Bundesnetzagentur

- Christou, I. T., Kefalakis, N., Soldatos, J. K. (u.a.) (2022): End-to-end industrial IoT platform for Quality 4.0 applications. In: Computers in Industry, 137. Amsterdam: Elsevier
- Eurostat (2025): Bruttowertschöpfung und Einkommen nach wichtigsten Wirtschaftsbereichen (NACE Rev. 2). Eurostat,
https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/nama_10_a10_custom_15787006/default/table?lang=de (Abgerufen am 17.06.2025)
- Freisinger, G., Jöbstl, O., Kögler, B., (u.a.) (2022): Die digitale Transformation des Qualitätsmanagements: Potenziale nutzen, Strategien entwickeln, Qualität optimieren. München: Hanser
- Heister, W. (2025): Zukunft gestalten: Qualitätsmanagement und Rechtsrahmen. In: Heister, W., Krings, M.: Digitalisierung in der Sozial- und Kulturwirtschaft – Eine Einführung. Wiesbaden: Springer VS, S. 123-146
- Jacob, D. (2017): Quality 4.0 impact and strategy handbook. LNS Research, MaterControl
- Javaid, M., Haleem, A., Singh, R.P. (u.a.) (2021): Significance of Quality 4.0 towards comprehensive enhancement in manufacturing sector. In: Sensors International, 2021(2). Beijing: KeAi
- Kubat, R. R. (2018). Quality 4.0: The internet of things is only half the solution. In: The Quality Magazine, 57(4). Deerfield: BNP Media, S. 42-45
- Liu, H.-C., Liu, R., Gu, X. (u.a.) (2023): From total quality management to Quality 4.0 – A systematic literature review and future research agenda. In: Front. Eng. Manag., 10. Wiesbaden: Springer, S. 191-205
- Lindsay, P. (2019): In It to Win It - Quality 4.0 report reveals what organizations must do to prepare for the future. In: Quality Progress, 52(12). Milwaukee: American Society for Quality, S. 6-7
- Lu, Y. (2017): Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues. In: Journal of Industrial Information Integration, 6. Amsterdam: Elsevier, S. 1–10

- Maganga, D. P. und Taifa, I. W. R. (2023): Quality 4.0 conceptualisation: An emerging quality management concept for manufacturing industries. In: The TQM Journal, 35(2). Bradford: Emerald, S. 389–413
- Mahin, M., Kadasah, N., Alsabban, A., (u.a.) (2024): Exploring the landscape of Quality 4.0 – A comprehensive review of its benefits, challenges, and critical success factors. In: Production & Manufacturing Research, 12 (1). London: Taylor & Francis
- Obermaier, R. und Wagenseil, V. (2019): Betriebswirtschaftliche Wirkungen digital vernetzter Fertigungssysteme – Eine Analyse des Einsatzes moderner Manufacturing-Execution-Systeme in der verarbeitenden Industrie. In: Obermaier, R. (Hrsg.): Handbuch Industrie 4.0 und Digitale Transformation – Betriebswirtschaftliche, technische und rechtliche Herausforderungen. Wiesbaden: Springer Gabler, S. 205-234
- Rüßmann, M., Haghi, S., Bergstein, D. (u.a.) (20): Smartes Fehlermanagement auf dem Shop Floor. Ein Lösungsansatz für KMU. In: Bosse, C. K., Zink, K. J. (Hrsg.): Arbeit 4.0 im Mittelstand – Chancen und Herausforderungen des digitalen Wandels für KMU. Berlin: Springer Gabler, S. 267-278
- Sader, S., Husti, I. und Daroczi, M. (2021): A review of Quality 4.0: Definitions, features, technologies, applications, and challenges. In: Total Quality Management & Business Excellence, 33(9-10), London: Taylor & Francis
- Sony, M., Antony, J. und Douglas J. A. (2020): Essential ingredients for the implementation of Quality 4.0: A narrative review of literature and future directions for research. In: TQM Journal, 32(4). Bradford: Emerald, S. 779–793
- Sony, M., Antony, J., Douglas, J. A. (u.a.) (2021): Motivations, barriers and readiness factors for Quality 4.0 implementation: an exploratory study. In: The TQM Journal, 33(6). Bradford: Emerald, S. 1502-1515
- Zimmermann, V. (2022): Vielfältige Hemmnisse bremsen die Digitalisierung im Mittelstand. KfW, <https://www.kfw.de/PDF/Download-Center/Konzerntemen/Research/PDF-Dokumente-Fokus-Volkswirtschaft/Fokus-2022/Fokus-Nr.-380-April-2022-DigiHemmnisse.pdf> (Abgerufen am 01.08.2025)

Zhou, K., Liu, T., und Zhou, L. (2016): Industry 4.0: Towards future industrial opportunities and challenges. In: 2015 12th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery. Piscataway: IEEE, S. 2147-2152

Zonnenshain, A. und Kenett, R.S. (2020): Quality 4.0—the challenging future of quality engineering. In: Quality Engineering, 32. London: Taylor & Francis, S. 614-626

Zürn, S. und Lücken, H. (2020): Chancen und Risiken von Industrie 4.0 für die Qualitätssicherung - Empirische Studie zu Unternehmen der deutschen Fertigungsindustrie. In: ZWF, 115(4). München: Hanser, S. 248-251