

0

Datenbasiertes Qualitätsmanagement

Roland Jochem



Qualität linear so weiterzudenken wie bisher, wird nicht die Antworten liefern, die bei den zukünftigen Herausforderungen wie knappe Ressourcen, Klimawandel und Fachkräftemangel benötigt werden. Ein erweitertes, wenn nicht sogar neues Verständnis von Qualität ist erforderlich, das neue Aufgaben wie Nachhaltigkeit, Ressourceneffizienz und Fachkräftequalifizierung mit dem Schlüssel der Digitalisierung und Machine Learning (ML) berücksichtigt und zu einem intelligenten Qualitätsmanagement (QM) vereint.

Durch die Digitalisierung und Vernetzung der Produktion und die damit verbundene Zunahme von Daten kommt dem Qualitätsmanagement in Zukunft eine noch bedeutendere Rolle zuteil. Das Buch zeigt auf, wie diese Datenzunahme im Qualitätsmanagement genutzt werden kann. Dafür werden zunächst mathematisch-statistische Grundlagen sowie Methoden der Datenanalyse und Künstlichen Intelligenz (KI) vorgestellt, mit deren Hilfe Informationen bzw. Qualitätswissen aus den Daten erzeugt werden. Danach wird dargestellt, wie diese Methoden in verschiedenen Bereichen des Qualitätsmanagements angewendet werden können, beispielsweise in der Prozesssteuerung, im Risikomanagement und bei der Erfüllung von Kundenbedürfnissen, um so eine Entscheidungsunterstützung zu bieten. Anschließend verdeutlichen Beispiele aus der Industrie, wie Qualitätsmanagement in der Praxis umgesetzt wird.

0.1 Einleitung

Die Märkte, vor allem im globalen Kontext, werden zunehmend komplexer und wandeln sich tiefgreifender und schneller. Unternehmen reagieren auf den gestiegenen Wettbewerbsdruck mit kürzeren Innovationszeiten und Produktlebenszyklen. Parallel sind neue Technologien wie beispielsweise für die Elektromobilität einzuführen

und abzusichern. Dabei müssen Unternehmen nicht nur den ökonomischen und technischen, sondern auch den politischen und ökologischen Anforderungen gerecht werden, die den Kern der hohen Dynamik und Diskontinuität der heutigen Marktstrukturen ausmachen. Darüber hinaus führt die zunehmende Produktvariantenvielfalt zu einer gesteigerten Komplexität der mit der Entwicklung, Produktion und Logistik verbundenen Prozesse bis hinein in die Lieferketten. Die Folge sind zumeist kleinere Losgrößen, die einen höheren Aufwand bei Qualitätsplanung, -steuerung und -verbesserung nach sich ziehen. Die permanent von den Unternehmen erwartete schnelle Reaktionsfähigkeit stellt neue Anforderungen an Qualitätsmanagement und Qualitätssicherung in Unternehmen.

Dabei spielen auf dem Markt nicht nur die technische Produktqualität und die Prozessqualität eine entscheidende Rolle. Qualität beinhaltet auch Innovationen, die darauf abzielen, den Kundennutzen spürbar zu steigern. Neben der Schnelligkeit sind weitere qualitätstreibende Handlungsfelder wie erweiterte und sich stetig ändernde Kundenanforderungen aufgrund von neuen Nutzungsbedingungen und Nutzungsprofilen von „globalen Kunden“, höherer Anteil von Software im Produkt und dem Produkt zugeordnete Dienstleistungen, welche zusammen als „Hybride Leistungsbündel“ vermarktet werden, sowie Nachhaltigkeitsanforderungen und Umweltschutzstandards entlang der Wertschöpfungskette hinzugekommen, die Überprüfbarkeit, Transparenz, Robustheit und Absicherung erfordern. Qualität muss das Handeln der Gesamtorganisation umfassen bis hin zum Management der Zuliefernetzwerke (Jürgen 2022).

0.2 Digitalisierung und Industrie 4.0

In großen produzierenden Unternehmen ist die Umsetzung von Digitalisierung bis hin zu Industrie 4.0 oft schon weit fortgeschritten. Die grundlegende Infrastruktur mit der dazugehörigen Sensorik und Vernetzung ist geschaffen und die so verfügbaren Daten werden in vielfältiger Weise genutzt. Kollaborative Roboter unterstützen die Arbeit in ganz neuer Weise, digitale Assistenzsysteme helfen dem Personal unter Einsatz von Augmented Reality – auch Industrial Metaverse genannt. Dadurch eröffnen sich völlig neue Methoden zur Reduktion von Energieverbrauch und des CO₂-Fußabdrucks. Künstliche Intelligenz trägt zur effizienten Nutzung von Rohstoffen bei, wodurch neue nachhaltige Geschäftsmodelle entstehen.

Trotz aller Fortschritte bleiben noch viele Herausforderungen, vor allem bei der Implementierung und Nutzbarkeit. Zum einen müssen diese Anwendungen von Industrie 4.0 in die Breite getragen werden und auch in kleineren Unternehmen zum Einsatz kommen. Der wirtschaftliche Nutzen in Form geringerer Kosten und/oder zusätzlicher Umsätze muss dabei für sie unmittelbar erkennbar sein. Die zunehmende

Bedeutung von Nachhaltigkeit für die Unternehmensbewertung ist ein weiterer Anreiz für die Unternehmen, um Industrie 4.0 einzusetzen und so ihre CO₂-Emissionen zu reduzieren.

Die horizontale Integration von Unternehmen in Wertschöpfungsnetzwerken ist in Industrie 4.0 eine wesentliche Zielsetzung, deren Umsetzung erst jetzt durch die Schaffung der nötigen Voraussetzungen in den Unternehmen möglich wird. Beispiele der Vernetzung wie Catena-X in der Automobilwirtschaft oder Manufacturing-X im verarbeitenden Gewerbe eröffnen neue Möglichkeiten auch zur Steigerung der Nachhaltigkeit, vor allem für die Kreislaufwirtschaft.

Ein digitaler Produktpass und Transparenz über den gesamten Lebenszyklus eines Produkts ermöglichen durch genaue Informationen über Bestandteile und verwendete Materialien sowie Demontageanleitungen nicht nur ein neues Niveau der Rohstoffwiedergewinnung, sondern fördern auch die höherwertige Zweitnutzung etwa in Form von Upcycling, Refurbishing, Remanufacturing, Re-Use oder gar Second Life (acatech 2024a) (acatech 2024b).

0.3 Daten als Treiber von Optimierung und Innovationen

Die Datennutzung innerhalb von Unternehmen nimmt stark zu. Während anfänglich Daten eher zufallsgesteuert gesammelt und nicht zielgerichtet verwertet wurden, finden nun in immer mehr Bereichen Auswertungen statt. Diese schaffen nicht nur ein Echtzeitbild des Unternehmens, sondern ermöglichen beispielsweise durch den Einsatz Künstlicher Intelligenz Energieeinsparungen, ein neues Niveau der Flexibilität in der Produktion, die Steigerung der Ressourceneffizienz und auch neue Fertigungsverfahren (acatech 2024b) (acatech 2024c).

Hierbei werden meist auf Zeitreihen ausgerichtete Visualisierungswerkzeuge eingesetzt, die Ähnlichkeitssuchen aus Zeitverläufen, Abhängigkeitsanalysen und ähnliche fortgeschrittene Funktionalität anbieten.

Auf der Basis von Daten können neue Angebote bis hin zu einem neuen Geschäftsmodell geschaffen werden. Wenn ein Unternehmen jederzeit den Zustand seiner Produkte kennt, die bei Kunden im Einsatz sind, werden neue Servicegarantien möglich. Servicetechniker können idealerweise schon vor Ort sein, bevor eine Maschine ausfällt, und haben dann alle benötigten Ersatzteile dabei. Es werden aber auch neue Vertriebsmodelle möglich, bei denen Geräte nicht mehr verkauft, sondern den Kunden zur Nutzung bereitgestellt und nach tatsächlicher Nutzungshäufigkeit oder auch nach Auslastung oder Lastprofile abgerechnet werden (Pay per Use, Pay per X) (acatech 2024c) (Jürgen 2022).

Diese Option für neue Geschäftsmodelle wird allerdings bei vielen Unternehmen noch nicht genutzt. Schließlich kann ein Produkt auch während der Nutzung (gegen Zahlung) neue Funktionen bekommen, die sich für den jeweiligen Kunden auf Basis seiner Nutzung des Produkts anbieten.

0.4 Datenanalyse und Einsatz von KI-Methoden im QM

Daten sind heute zu einer der kostbarsten Ressourcen unserer Zeit geworden. Sie bilden das Fundament, auf dem moderne Unternehmen aufbauen und gedeihen. Die Fähigkeit, Daten nicht nur zu sammeln, sondern auch zu verstehen, zu analysieren und aus ihnen wertvolle Erkenntnisse zu gewinnen, ist zu einem entscheidenden Wettbewerbsvorteil geworden, der über Erfolg und Misserfolg auf dem Markt entscheiden kann.

Daten sind weit mehr als nur Zahlen und Fakten; sie sind das Bindeglied zwischen den Rohinformationen und den strategischen Entscheidungen eines Unternehmens. Die Fähigkeit, diese Daten zu dekodieren und in wertvolle Einblicke umzuwandeln, ist zu einer Kernkompetenz geworden, die Führungskräfte und Fachkräfte gleichermaßen beherrschen müssen.

KI und ML haben bereits eine transformative Wirkung in verschiedenen Bereichen entfaltet und ihr Potenzial zur Veränderung ist noch längst nicht ausgeschöpft. Von der Fertigungsindustrie, wo sie die Effizienz und Qualität der Produktion verbessern, bis hin zur Kundenservicebranche, wo sie personalisierten Support bieten, sind die Anwendungen von Künstlicher Intelligenz und maschinellem Lernen vielfältig und tiefgreifend.

Sie sind in der Lage, Menschen anstrengende und vor allem repetitive Arbeiten abzunehmen, sodass diese sich in ihrer persönlichen Entwicklung in Zukunft viel stärker auf anspruchsvollere, strategische oder zwischenmenschliche Aufgaben konzentrieren können (Jürgen 2022).

0.5 Handlungsfelder und Entwicklungspfade für das Qualitätsmanagement von morgen

Die Qualität von Produkten und Dienstleistungen hat sich zu einem strategischen Wettbewerbsfaktor entwickelt. Dabei sind nicht nur die Produktion, sondern auch die Bereiche der Produktentstehung mit Entwicklung, Fertigungsplanung, Beschaffung, Instandhaltung und Vertrieb sowie Kundendienst in die Betrachtungen einzubeziehen.

hen, bis hin zur gesamtheitlichen, umfassenden Qualitätsbetrachtung des Unternehmens mit seinen Kunden- und Lieferantenbeziehungen.

Zukünftig werden die Bewertung und Sicherstellung der kundenrelevanten und vom Kunden wahrgenommenen Qualitätsmerkmale (Perceived Quality) bei der Entwicklung neuer Qualitätstechniken im Vordergrund stehen. Fehlerquellen und Problemstellungen müssen frühzeitig erkannt, bewertet und beseitigt werden. Der Produktreifegrad über den Produktentstehungsprozess hinweg muss messbar und transparent dargestellt werden. Dazu sind Methoden und Techniken zu entwickeln, die in den einzelnen Prozessabschnitten einfach und zielführend einsetzbar sind. Ein zunehmender Komplexitätsgrad der Produkte, die Entwicklung in global (räumlich und organisatorisch) verteilten Strukturen und der Einsatz virtueller Methoden in sich ständig verkürzenden Prozessen sind einerseits Herausforderungen an die Qualitätswissenschaft, die neue Lösungsansätze in Datenanalyse, Problemlösungstechniken und Qualitätspraktiken erfordern (Bild 0.1). Andererseits sind diese Lösungsansätze auch auf komplexe, zunehmend global verteilte Wertschöpfungsprozesse anzupassen (Jochem 2019a).

Die Digitalisierung der Qualitätsarbeit wird zum Enabler für das Qualitätsmanagement der Zukunft. Dabei entstehen folgende Handlungsfelder, die von der Digitalisierung profitieren werden:

- **Prävention** statt Reaktion – Frontloading zur Erhöhung der Produkt- und Prozessqualität
 - Beschleunigte Entwicklung durch systematisches Requirements Engineering
 - Frühzeitigere Validierung durch Simulationen
- **Kooperation** – Zulieferqualität ist entscheidend
 - Weniger Ausfälle und geringere Gewährleistungskosten durch Assistenzsysteme zur Steuerung der Supply Chain (Kollaborationsplattform mit Q-Cockpit zur Kommunikation und Verbesserung der Informationslogistik)
- Qualität erfordert **Transparenz** – Zusammenhänge und Wechselwirkungen erkennen zur Verbesserung der Reaktions- und Entscheidungsfähigkeit
 - Mehr Transparenz durch kontinuierliches Monitoring über Cockpits und Bewertung der Wirtschaftlichkeit von Qualität
 - Transparentere Entscheidungen durch kontextbasierte, situative intelligente Analyse- und Prognosemodelle („Digitaler Schatten“)
- **Schnelligkeit** – systematische Problemlösung beschleunigt Fehleridentifikation und Ursachenbehebung um bis zu 30 %
 - Höhere Reaktionsfähigkeit durch Frühwarnsysteme
 - Echtzeit-Mustererkennung und Diagnosesysteme bei Ausfällen/Fehlern
 - Ursachenanalyse/-behebung unter Nutzung von Expertensystemen

- **Kundenorientierung** – besseres Verständnis von Kundenprozessen und -wünschen durch verstärkte Kundenintegration
 - Höhere Produktqualität durch besseres Verständnis der Kundenprozesse und Integration von Social-Media-Daten und Innovationsplattformen
 - Bessere Qualität durch Qualifizierung der Mitarbeiter

Bei der Gestaltung der digitalisierten Arbeit muss zunächst mit höheren Kosten gerechnet werden. Des Weiteren ist zu berücksichtigen, dass sich der Nutzen für ein Unternehmen erst mit einer zeitlichen Verzögerung einstellt. Langfristig ist jedoch die Realisierung des gleichen Nutzens ohne Digitalisierung nicht möglich.

Mit der nun verfügbaren Datenbasis ist es möglich, Qualitätsprozesse in der Produktion besser zu verstehen und durch gezielte Analysen und Auswertung dieser Daten zu optimieren. Die systematische Erfassung und Darstellung von Sensor-, Produktions- und Qualitätsdaten in einem sog. „Digitalen Zwilling“ sind Grundlage dafür, wobei Methoden aus dem Bereich von KI bzw. ML unterstützen können, Muster und Korrelationen zu erkennen, die mit existierenden, beispielsweise statistischen Methoden nur unzureichend beurteilt werden können. So kann nicht nur eine Absicherung der Qualität erfolgen, sondern es können bereits prädiktive Aussagen zu Qualität von Produkt und Prozess erfolgen, beispielsweise zum zukünftigen Zustand von Anlagen und der Qualität von Produktionsprozessen (Jochem 2019a).

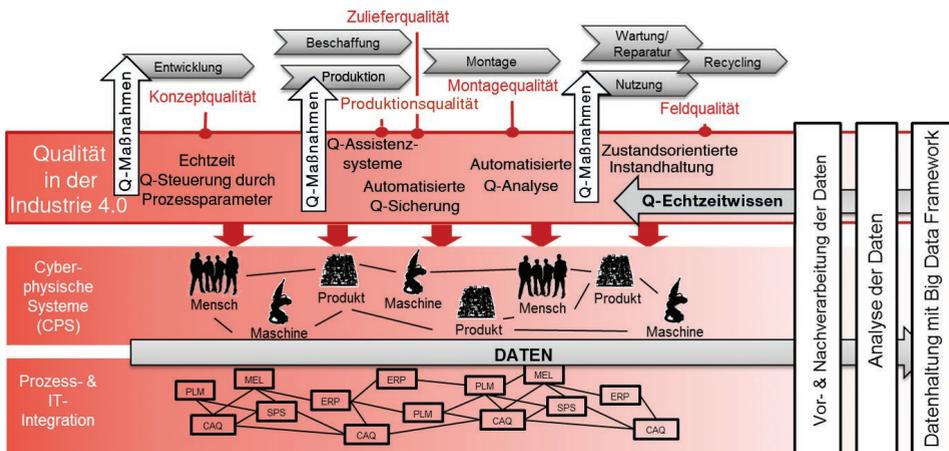


Bild 0.1 Digital Quality: Daten als Schlüsselfaktor für die Qualität in der Industrie 4.0

Für diese Handlungsfelder der Digitalisierung der Qualitätsarbeit wurde vom Institut für Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb (IWF) der TU Berlin auf der Grundlage von „Standard-Use-Cases“ ein Lösungsansatz zur Unterstützung des Qualitätsmanagers der Zukunft entwickelt: eine „integrierte Qualitätsplattform“ mit unterschiedlichen, die Qualitätsaufgaben in den genannten Handlungsfeldern unterstützenden

Applikationen (Apps). Diese ermöglichen es Ihnen einerseits, basierend auf den aufbereiteten bzw. analysierten Echtzeitdaten aus der Produktion „Qualitätswissen“ zu generieren (Bild 0.2). Andererseits unterstützen sie bei der systematischen Ableitung von Qualitätsmaßnahmen entlang der gesamten Wertschöpfungskette.

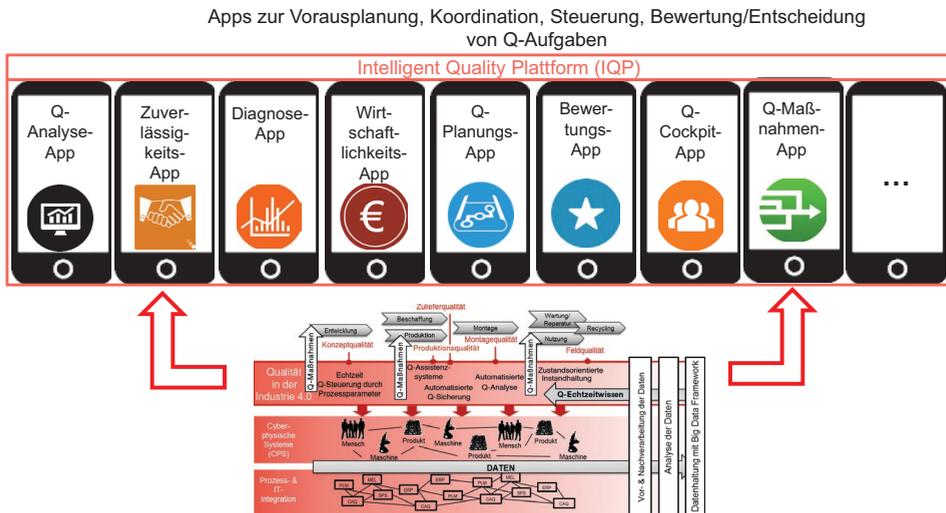


Bild 0.2 Intelligente Qualitätsplattform

Es geht dabei nicht mehr vorrangig darum, den Ist-Zustand in einem QM-System zu beschreiben, sondern darum, diesen zu verstehen, zukünftige Entwicklungen daraus abzuleiten sowie Prozesse und Qualitätsmaßnahmen vorzuplanen, d. h. qualitätsdenkende und autonom qualitätshandelnde Systeme zu entwickeln bzw. im Unternehmen zu etablieren. Für die in der Abbildung dargestellten Phasen werden folgende Methoden der Statistik und der Künstlichen Intelligenz eingesetzt (Bild 0.3):

- **Descriptive Analytics:** Visualisierungen (Histogramme, Verteilungsfunktionen, Pareto-Plots etc.), statistische Kennzahlen, Zufallsstreuungsbereiche, Konfidenzintervalle, Schätzfunktionen, Hypothesentests
- **Explorative Analytics:** Regression, Varianzanalyse
- **Predictive Analytics:** Weibull-Analysen, Clustering, Regression, Decision Trees, Assoziationsregeln
- **Prescriptive Analytics:** Decision Trees, Deep Learning, evolutionäre Verfahren, Assoziationsregeln

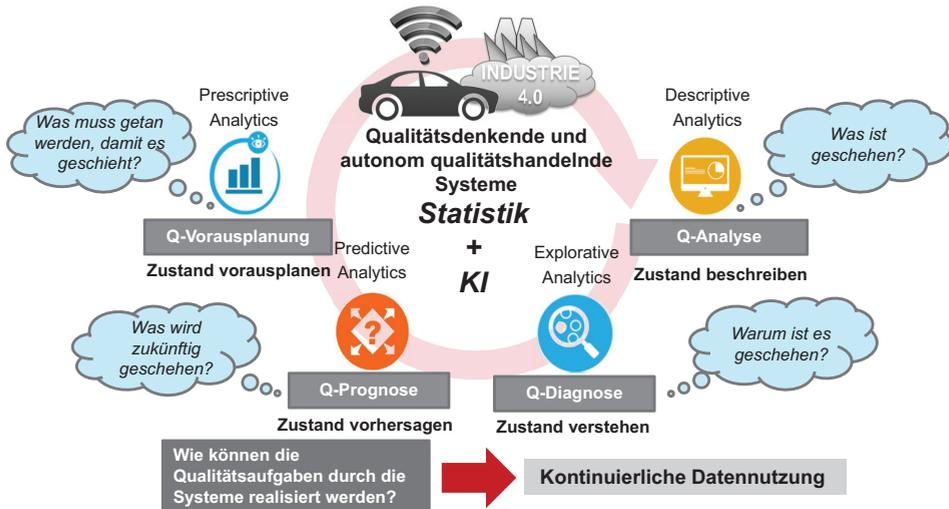


Bild 0.3 Entwicklung der Datenanalyse in der Qualitätsarbeit: Potenziale der statistischen Qualitäts- und Zuverlässigkeitsanalysen

Im Einzelnen erfolgt Unterstützung bei den folgenden Aufgaben:

- relevante Informationen und Prozessbeteiligte verknüpfen,
- verteiltes, implizites Qualitätswissen zusammenführen und nutzen,
- „geführtes“ Erkennen von Fehlerschwerpunkten und Lernen aus Fehlern durch Assistenzsysteme und dynamische Fehlerkataloge,
- systematischer Fehlerabstellprozess durch integrierte Qualitätsmethoden,
- systematisches Lernen aus gesammelten Daten.

Wesentlich bei der Digitalisierung wird aber sein, wie neben Daten, Algorithmen und Künstlicher Intelligenz etc. das Zusammenspiel zwischen Mensch und Maschine bzw. Computer partnerschaftlich gestaltet werden kann, da Mensch und Maschine nicht aufeinander reduziert werden können. Der Ersatz des Menschen, d. h. die Automatisierung von Prozessen über Künstliche Intelligenz, wird in Zukunft weiter zunehmen, speziell da, wo die Stärke der Maschinen überwiegen und es die Natur der Problemstellung ermöglicht. Ein Übermaß an Automatisierung bedeutet aber einen Verlust an Autonomie auch im Qualitätsmanagement und damit die Gefahr, komplexe Fragestellungen unterkomplex zu behandeln. Menschen verfügen zwar nicht über die Fähigkeiten der Maschinen, haben aber Wissen über den sozialen Kontext und können über Heuristiken oft viel schneller und effektiver lernen und auch mit Nichtwissen lösungsorientiert umgehen (Jochem & Menrath 2019).

Aufgrund der zukünftigen Online-Beziehung zwischen Kunden, Produkten und Dienstleistungen muss die Vielzahl der anfallenden Daten über ein entsprechendes

Know-how in Data-Engineering und Data Science analysiert und interpretiert werden, um ein präventives bzw. prädiktives, transparentes, schnelles und damit kundenorientiertes Qualitätsmanagement zu ermöglichen (Bild 0.4). Denn erst die Entwicklung echtzeitfähiger Analysemethoden ermöglicht den proaktiven Eingriff in die Informationsprozesse und kann damit als Basis für neue digitale Geschäftsmodelle dienen.

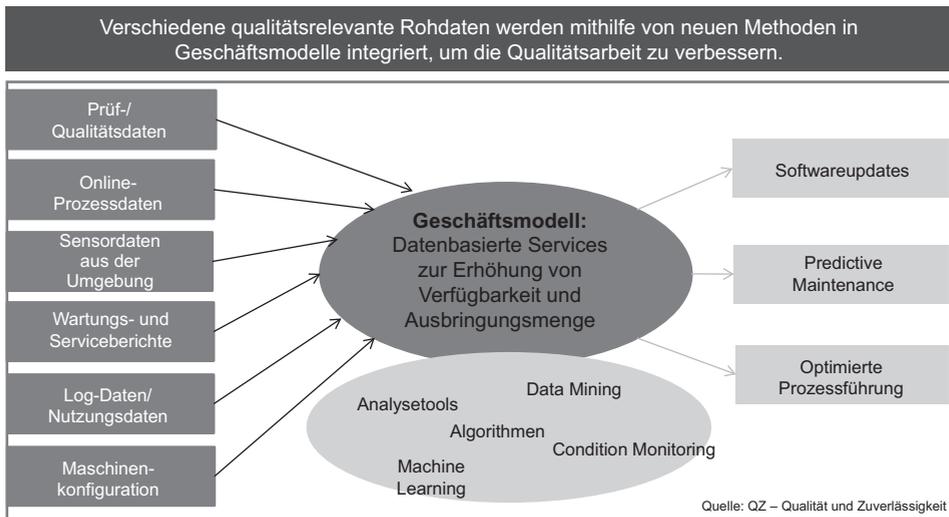


Bild 0.4 Datenbasierte Services

Bereits während der Produktion kann durch Echtzeitauswertung der Prozessparameter Wissen über die Qualität des Produkts generiert werden. Lernende Algorithmen stimmen automatisiert den Prozessablauf auf ein ideales Ergebnis ab, Abweichungen werden frühzeitig erkannt und Ausschuss minimiert. Daneben ergeben sich über Langzeitanalysen und Mustererkennung Aussagen über den Zustand der Anlage, Ausfälle können durch rechtzeitiges Eingreifen gezielt verhindert werden (Jochem 2019b).

Die Umsetzung eines datengetriebenen QM steht und fällt mit der Qualität und Zuverlässigkeit der Daten, die von Sensoren erfasst, von Algorithmen in Systemen ausgewertet/analysiert und von Menschen zur Entscheidungsunterstützung genutzt werden.

0.6 Anforderungen an Personal und Qualifikation

Qualität findet vor allem in den Köpfen der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter statt. Jede einzelne Person sollte für den Erfolg des Unternehmens und für die Qualität seiner Produkte und Dienstleistungen begeistert werden. Deshalb gehört es zur Managementaufgabe auch, eine an Qualität ausgerichtete Unternehmenskultur zu etablieren. Sie fördert die Bereitschaft, in innovative Produkte und Prozesse zu investieren. Sie zeichnet sich aus durch Kreativität in Strategie und Planung, Leidenschaft für die Lösung von Aufgaben und Präzision in der Ausführung.

Andererseits werden sich für die Umsetzung der digitalisierten Qualitätsarbeit vor allem auch die Anforderungen an die Qualifikation von Personal im Qualitätsmanagement verändern müssen. Das Erfordernis, Informationsflüsse und den potenziellen Wert von Daten zu verstehen und unter Berücksichtigung des fachlichen Wissens auswerten zu können, schafft teilweise völlig neue Tätigkeitsfelder (Datenanalyse und Virtualisierung/Augmented Reality bis hin zur App-Entwicklung) für betreffende Mitarbeiter im Qualitätsmanagement (Jochem 2019b).

Qualitätsmanager und Qualitätsmanagerinnen der Zukunft werden aus Analysen von Echtzeitdaten die relevanten Qualitätsdaten für Risikobetrachtungen und Entscheidungen in der Produktionsplanung und -entwicklung gewinnen, ebenso für Prüfpläne, Test- und Abnahmekriterien.

Daher müssen sich die Mitarbeiter neue Fähigkeiten aneignen oder bestehende Kompetenzen weiterentwickeln, um digitale Methoden und hochkomplexe Datensätze verstehen und anwenden zu können.

Um ein solches intelligentes Qualitätsmanagement zu etablieren, muss sich der „Berufsstand“/die Unternehmensposition Qualitätsmanager/Qualitätssicherungsmitarbeiter emanzipieren und weiterentwickeln. Normen und Standards bilden eine der Grundlagen für Excellence und gehören zu den Kernaufgaben des Qualitätsmanagements. Darüber hinaus müssen Qualitätsmanagerinnen und Qualitätsmanager ihr Selbstverständnis und ihre Kompetenzfelder erweitern und sich in die Lage versetzen, über die Methodenkompetenz hinaus auch den Strategie- und den Kulturfaktor Qualität voranzutreiben. Damit wächst ihre Bedeutung im Unternehmen.

0.7 Struktur dieses Buchs

Dieses Buch gliedert sich in die Teile A „Grundlagen für die Erzeugung von Qualitätswissen“, B „Intelligente Methoden und Lösungen für das digitale Qualitätsmanagement“ sowie C „Zukünftige Entwicklung des Qualitätsmanagements“.

Nach einer Einführung in das datengetriebene QM erfolgt in Teil A die Darstellung der mathematisch-statistischen Grundlagen, die bei der Datenanalyse, dem Einsatz von Künstlicher Intelligenz und den Lösungen für das digitale QM als Basiswissen notwendig sind. Anschließend folgen die Beschreibung der Kategorien und Typen der Datenanalyse und die Erläuterung der dabei vorrangig eingesetzten Methoden. Im darauffolgenden Kapitel werden die wichtigsten Methoden der KI und des ML dargestellt, die bei den in Teil B vorgestellten Lösungen für das digitale QM Anwendung finden. Abgerundet wird der Teil A mit der Beschreibung des im Kontext des digitalen QM bedeutenden Themenbereichs Datenräume. Dabei werden die Anforderungen an die Datenqualität und internationale Initiativen zum unternehmensübergreifenden Datenaustausch bzw. zur Datennutzung auf der Grundlage von gemeinsamen, standardisierten Datenräumen vorgestellt.

Teil B beinhaltet intelligente Methoden und Lösungen, die unter Einsatz von Datenanalyse und KI-Methoden Wege zum digitalen QM aufzeigen. Dabei geht es einerseits um entsprechende spezifische Ontologien für das QM als Grundlage für den Einsatz von KI in der Produktion als auch um die Fragestellung, wie die Datenanalyse systematisch in den Produktentstehungsprozess integriert werden und durch Assistenzsysteme sinnvoll unterstützt werden kann. Andererseits geht es um KI-basierte prädiktive Methoden für Prozesskontrolle und Zuverlässigkeitsprognosen.

Da der Mitarbeiter trotz Unterstützung durch KI auch zukünftig eine bedeutende Rolle im QM haben wird, werden hier auch Methoden zu mitarbeiterorientierten Q-Regelkreisen im Bereich Fehlermanagement, der automatisierten Charakterisierung von Fehlerbildern bis hin zu einem gesamtheitlichen „Fingerprint of Quality“ von Produktionsprozessen sowie ein kognitives Assistenzsystem zur Nutzung von Erfahrungswissen im Qualitätsmanagement vorgestellt. Ergänzt wird die Darstellung von intelligenten, digitalen Lösungen durch Beiträge aus der Automobilindustrie zu KI-basiertem Komplexitätsmanagement am Beispiel des automobilen Konfigurationsmanagementprozesses und zur datenbasierten Qualitätssicherung von Fahrerassistenzsystemen aus Kundenperspektive. Abgerundet wird der Teil B durch Beiträge zur datenbasierten Planung und Prüfung der Qualität von Dienstleistungen und zur ganzheitlichen Planung der Qualitätsorganisation in produzierenden Unternehmen.

Zukünftige Entwicklungen und einen Ausblick gibt der Teil C mit der empirisch fundierten Darstellung der Synergiepotenziale zwischen Innovations- und Qualitätsfunktion im Unternehmen sowie der Beschreibung der Herausforderungen hinsichtlich Qualitätskultur und Nachhaltigkeit der Qualität von morgen.

Literatur

acatech (2024a): Forschungsbeirat der Plattform Industrie 4.0/acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften (Hrsg.): *Themenfelder Industrie 4.0 – Forschungs- und Entwicklungsbedarfe zur erfolgreichen Umsetzung von Industrie 4.0*, 2. überarbeitete Fassung, DOI: 10.48669/fb40_2022-04.

acatech (2024b): Forschungsbeirat Industrie 4.0/acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften (Hrsg.): *Aufbau, Nutzung und Monetarisierung einer industriellen Datenbasis*, DOI: 10.48669/fb40_2022-06.

acatech (2024c): Forschungsbeirat der Plattform Industrie 4.0/acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften (Hrsg.): *Künstliche Intelligenz und industrielle Arbeit – Perspektiven und Gestaltungsoptionen*, DOI: 10.48669/fb40_2024-1.

Jürgen, F. (2022): *Datenbasierte Optimierung des Business Management Systems*, Hanser Verlag.

Jochem, R. (2019a): „Predictive Quality: Aktueller Hype oder künftig eine operative Notwendigkeit“, in: *QZ Qualität und Zuverlässigkeit*, 64(11), S. 98.

Jochem, R. (2019b): „Digitalization in Quality Assurance“, in: Dimitrov, Dimiter; Hagedorn-Hansen, Devon; von Leipzig, Konrad (Hrsg.): *International Conference on Competitive Manufacturing COMA*. Stellenbosch, Südafrika: Department of Industrial Engineering, University of Stellenbosch, 2019, S. 35 – 38.

Jochem, R. & Menrath, M. (2019): „Warum in Zukunft Qualität mehr als Qualität sein muss“, in: Robert H. Schmitt (Hrsg.): *Potenziale Künstlicher Intelligenz für die Qualitätswissenschaft*. Heidelberg: Springer, S. 127 – 144.

**Teil A -
Grundlagen
für die
Erzeugung
von Qualitäts-
wissen**

1

Mathematische und statistische Grundlagen

In diesem Kapitel findet sich eine Übersicht über die mathematischen und statistischen Grundlagen, die für die Datenanalyse und Data Science unerlässlich sind. Dieses Kapitel soll eine Auffrischung der grundlegenden Konzepte bieten und deren Anwendung und Relevanz im Bereich der Data Science hervorheben. Es richtet sich an Personen, die bereits mit den zugrunde liegenden mathematischen Prinzipien vertraut sind, und zielt darauf ab, ihr Verständnis zu vertiefen, indem es verschiedene Themen auf eine kurze, aber umfassende Weise zusammenführt.

Der erste Teil behandelt wichtige mathematische Konzepte, einschließlich der praktischen Anwendung und Visualisierung von Funktionen, Linearer Algebra, Analysis und den Grundlagen der Wahrscheinlichkeitstheorie. Diese mathematischen Grundlagen sind entscheidend für das Verständnis und die Durchführung verschiedener Data-Science-Aufgaben, von der Datenmanipulation bis hin zum Modellaufbau und zur Optimierung.

Der zweite Teil befasst sich mit den statistischen Aspekten und konzentriert sich auf Wahrscheinlichkeitsverteilungen und andere wesentliche Themen im Zusammenhang mit der Datenanalyse. Dazu gehört das Verständnis verschiedener Datentypen, statistische Inferenz, Hypothesentests und mehr. Indem diese statistischen Prinzipien mit ihren praktischen Anwendungen in der Data Science verknüpft werden, soll dieser Abschnitt den Leser mit den notwendigen Werkzeugen ausstatten, um Daten effektiv zu analysieren und zu interpretieren.

Zusammen bieten diese Abschnitte eine solide Grundlage in den mathematischen und statistischen Konzepten, die das Fundament der Data Science bilden.



In diesem Kapitel erfahren Sie mehr über:

- Lineare Gleichungen
- Vektoroperationen
- Matrizen und lineare Transformation
- Wahrscheinlichkeit
- Daten und Stichproben
 - Grundgesamtheit und Stichprobe
 - Merkmalstypen und Skalen
- Maßzahlen
 - Lagemaß und Streuungsmaß
- Grafische Darstellung von Daten
 - Häufigkeitsverteilungen und Diagrammtypen
- Wahrscheinlichkeiten und Zufallsvariablen
 - Wahrscheinlichkeitstheorie, Kombinatorik, Zufallsgrößen und -variablen
 - Erwartungswert und Varianz
- Wahrscheinlichkeitsverteilungen
 - Diskrete und stetige Verteilungen

1.1 Mathematische Grundlagen

Can Çağınca

1.1.1 Lineare Gleichungen

Lineare Gleichungen sind grundlegend für viele Bereiche der Mathematik, insbesondere für die lineare Algebra, die in der Ingenieurwissenschaft, Datenanalyse und im maschinellen Lernen von entscheidender Bedeutung ist. Eine lineare Gleichung ist eine algebraische Gleichung, bei der jeder Term entweder eine Konstante oder eine Variable ist. Die allgemeine Form einer linearen Gleichung in zwei Variablen x und y lautet:

$$ax + by = c$$

wobei a , b und c Konstanten sind. Die Gleichung wird als linear bezeichnet, weil die höchste Potenz der Variablen eins ist. Hat eine Variable einen Exponenten größer als eins, wird daraus eine polynomiale Gleichung.

Funktionen können durch Gleichungen dargestellt werden, wobei die Funktion beschreibt, wie ein Eingang (unabhängige Variable) in einen Ausgang (abhängige Variable) umgewandelt wird. Zum Beispiel definiert die Gleichung:

$$y = x^2$$