

1 Messunsicherheit in der Produktionstechnik

„Absolute certainty is a privilege of uneducated minds and fanatics – It is, for scientific folk, an unattainable ideal“

C. J. KEYSER

Als elementarer Bestandteil der Produktionstechnik beschreibt die Fertigungsmesstechnik alle Tätigkeiten, welche mit dem Messen und Prüfen von industriell hergestellten Produkten verbunden sind (Pfeifer und Schmitt 2010, S. 1). Aufgrund der einfach zu berechnenden Kosten, aber einem häufig schwer zu bestimmenden Nutzen, leidet die Fertigungsmesstechnik unter dem Stigma, nicht produktiv zu sein. Nachweislich führt sie jedoch nicht nur dazu, dass Informationen gewonnen werden, sondern auch dazu, dass aus diesen Informationen Wissen und Know-How entsteht. (Kunzmann et al. 2005, S. 157) Abbildung 1-1 beschreibt die Zusammenhänge zwischen einem einfachen Sammeln von Detailinformationen einer Messung, der Bildung von übergeordneten und komplexen Zusammenhängen sowie dem übergeordneten Know-How.

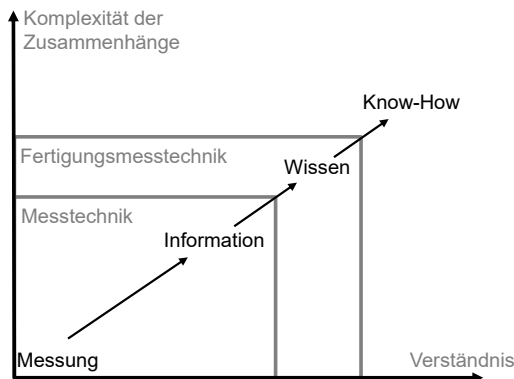


Abbildung 1-1 Gewinn von Wissen und Know-How als Ergebnis von steigenden Erfahrungswerten und dem Verständnis komplexer Zusammenhänge nach (Kunzmann et al. 2005, S. 157)

Die im Rahmen der Hannover-Messe 2011 ausgerufenen Industrie 4.0 (Kagermann et al. 2011) beschreibt sowohl das Bilden cyber-physischer Systeme, das Konzept des Internet of Things als auch den Anstieg der eingesetzten Roboter und Messtechnik. (Taymanov und Sapozhnikova 2018, S. 1) Ein Fokus von Industrie 4.0 Initiativen ist die flexible Gestaltung der Produktion, um dem steigenden Bedarf an individualisierten Produkten und schwankenden Losgrößen ökonomisch sinnvoll begegnen zu können. Cyber-physische Systeme verbinden hierbei reale, physische Objekte und Prozesse mit informationsverarbeitenden, virtuellen Objekten und Prozessen. Diese Verbindung ermöglicht es effizient auf geänderte Anforderungen in der Produktion zu reagieren, indem die über Messsysteme aufgenommene reale Welt mit einem virtuellen Planungsmodell verknüpft wird und Änderungen abgeleitet werden können. Es bestehen

dementsprechend hohe Anforderungen an die eingesetzten Messsysteme, da sie die Entscheidungsgrundlage für Änderungen darstellen und somit maßgeblich die Ergebnisse beeinflussen. (Imkamp et al. 2016, S. 325–326) Ein Maß, um die Güte und die anwendungsfallspezifische Eignung von Mess- und Prüfsystemen zu bewerten, ist die Messunsicherheit.

1.1 Notwendigkeit der Messunsicherheitsbestimmung

Aufgrund der steigenden Bedeutung der Fertigungsmesstechnik, der Mess- und Prüfsysteme steigen auch die Anforderungen an die Güte selbiger. Das Zitat von KEYSER zu Beginn der Dissertation macht deutlich, dass es objektiv betrachtet keine absolute Sicherheit gibt. Die absolute Sicherheit stellt ein angestrebtes, aber nicht erreichbares Ziel von Wissenschaftlern dar. Aus der Überlegung, dass es keine absolute Sicherheit gibt, leitet sich aus der Stochastik ab, dass auch jede Messung inhärent unsicherheitsbehaftet ist (Mueller et al. 2020, S. 494). Die Unsicherheit einer Messung definiert sich als Messunsicherheit; ein "nichtnegativer Parameter, der die Streuung der Werte kennzeichnet, die der Messgröße auf der Grundlage der benutzten Informationen beigeordnet ist" (JCGM 200:2012, S. 25) und beschreibt das fehlende exakte Wissen über die Messgröße (Possolo 2013, S. 1). Werden Aussagen aus unsicherheitsbehafteten Messungen abgeleitet, sind diese ebenfalls mit einer Unsicherheit behaftet und können zu fehlerhaften Entscheidungen führen (Lira 1999, S. 397).

Als klassisches Beispiel für die Relevanz der Messunsicherheitsbestimmung gilt die Konformitätsprüfung von Produkten (z. B. nach DIN EN ISO 14253-1), bei der die gemessenen Qualitätsmerkmale mit der vorgegebenen Spezifikation verglichen werden. Befinden sich Messwerte von Merkmalen nahe der Spezifikationsgrenzen, kann jedoch bei einer hohen Messunsicherheit nicht eindeutig entschieden werden, ob das Merkmal innerhalb oder außerhalb der Spezifikationsgrenzen liegt. In Abbildung 1-2 wird die Problemstellung verdeutlicht. Der Breite des Bereichs, in dem eine sichere Entscheidung getroffen werden kann, nimmt bei steigender Messunsicherheit proportional ab.

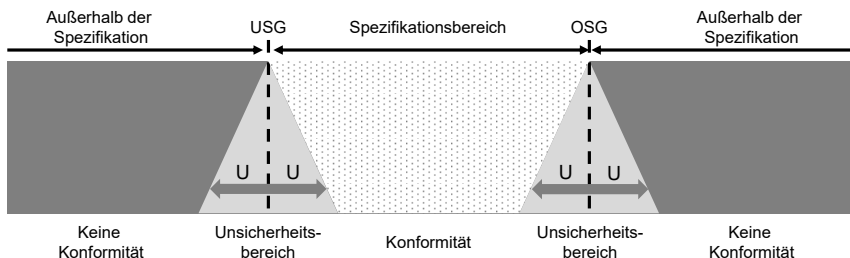


Abbildung 1-2 Darstellung des Unsicherheitsbereichs um die Spezifikationsgrenzen nach DIN ISO 14253-1 (DIN EN ISO 14253-1:2018-07, S. 8–10); U: Erweiterte Messunsicherheit; USG: Untere Spezifikationsgrenze; OSG: Obere Spezifikationsgrenze

Nahe der Spezifikationsgrenzen liegt somit ein erhöhtes Risiko für Fehlentscheidungen in Form von α - und β -Fehlern vor. Ein α -Fehler bedeutet für die Produktion ein Bauteil, welches tatsächlich innerhalb der Spezifikation liegt, jedoch als Ausschuss gekennzeichnet wird. Ein β -Fehler beschreibt ein fehlerhaftes Bauteil, welches nicht als ein solches erkannt wurde (Tabelle 1-1). β -Fehler führen dazu, dass fehlerhafte Bauteile an Kunden weitergegeben oder fehlerhafte Zwischenprodukte weiter verbaut werden. (Lira 1999, S. 398–399) Beide Fälle können, je nach Produktions- und Fehlerkosten, zu einem hohen wirtschaftlichen Schaden führen (VDA Band 5, S. 11).

Tabelle 1-1 Darstellung des α - und β -Fehlers in der Produktion

Messung \ Realität	Innerhalb der Spezifikationsgrenzen	Außerhalb der Spezifikationsgrenzen
Innerhalb der Spezifikationsgrenzen	Korrekte Entscheidung	β -Fehler
Außerhalb der Spezifikationsgrenzen	α -Fehler	Korrekte Entscheidung

Ist die Messunsicherheit nicht bekannt, kann folglich das Risiko für Fehlentscheidungen nicht abgeschätzt oder kontrolliert werden. Aus diesem Grund sind Messungen ohne die Angabe einer Messunsicherheit wertlos (Keferstein et al. 2018, S. 34). Die Bestimmung der Messunsicherheit wird von zahlreichen Normen gefordert. Viele Normen legen zudem Grenzwerte für die Messunsicherheit fest, anhand derer die Eignung des Mess- oder Prüfprozesses bewertet werden kann. (AIAG 2010; ISO 22514-7; VDA Band 5) Vor allem bei der Prüfung von sicherheitskritischen Merkmalen wird die Einhaltung dieser Grenzwerte auch immer häufiger von Kunden eingefordert. Um trotz der Unsicherheit der Messergebnisse die Produktkonformität sicherstellen zu können, wird in der Produktion bei geometrischen Merkmalen gemäß DIN EN ISO 14253-1 der Spezifikationsbereich eingeschränkt (s. Abbildung 1-2). Eine sehr konservative Abschätzung der Messunsicherheit nach oben führt folglich dazu, dass die verbleibende Fertigungstoleranz unter Umständen unnötig stark eingeschränkt, was zu erhöhten Kosten in der Herstellung führt. (Keferstein et al. 2018, S. 34)

1.2 Forschungsmethodik und Aufbau der Dissertation

Die Arbeiten in dieser Dissertation basieren auf den Prinzipien der angewandten Forschung und werden, im Gegensatz zur Grundlagenforschung, durch ein ungelöstes Problem der Praxis motiviert. Ziel ist es, über die Forschung Wissen zu erlangen und Lösungen zu erarbeiten, um ein unmittelbares Problem, mit dem eine Gesellschaft oder eine Industrie-/Unternehmensorganisation konfrontiert ist, zu lösen. (Kothari 2004, S. 1–3)

Für die Suche nach Lösungen für Problemstellungen aus der industriellen Praxis bietet ULRICH eine generalisierte Forschungsmethodik in der angewandten Forschung (Ulrich

1981). Die Forschungsmethodik basiert auf bestehenden Theorien sowie Konzepten und bildet das Grundgerüst für die Struktur dieser Dissertation. In Abbildung 1-3 wird dargestellt, wie die Inhalte der Arbeit sich, in Anlehnung an die Forschungsmethodik nach ULRICH, strukturieren.

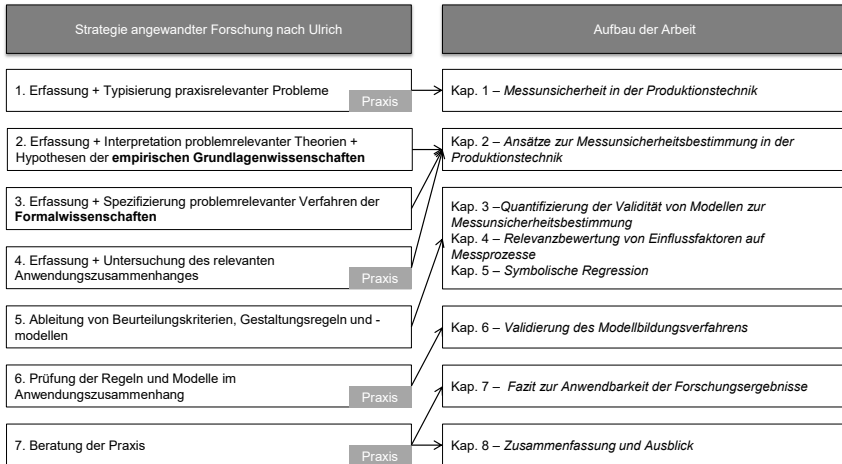


Abbildung 1-3 Aufbau der Arbeit in Anlehnung an die Forschungsmethodik nach ULRICH

Die Forschungsarbeiten und -ergebnisse, welche in dieser Dissertation beschrieben werden, ordnen sich den acht Prinzipien der guten wissenschaftlichen Praxis nach BARGHEER UND SCHMIDT unter – Ehrlichkeit, Verlässlichkeit, Objektivität, Unabhängigkeit, Offene Kommunikation, Sorgfaltspflicht, Fairness und Verantwortung für nachwachsende Wissenschaftlergenerationen (Bargheer und Schmidt 2015, S. 2). Dies bedeutet, dass die Forschungsergebnisse ehrlich, mit Verweisen auf die verwendeten Methoden und Prozesse sowie ohne Verzerrungen unter höchster Sorgfalt erarbeitet wurden und dargestellt werden. Alle Interpretationen und Schlüsse basieren auf Daten und Fakten, sind transparent dargestellt und frei von ideologischen, politischen oder ökonomischen Interessen. Die wissenschaftliche Argumentation kann jederzeit nachvollzogen und geprüft werden. Über die Publikation der Dissertation werden die Ergebnisse für die Fachgemeinschaft und der allgemeinen Öffentlichkeit zugänglich. Alle verwendeten Vorarbeiten werden unter Berücksichtigung der Rechte und Interesse des jeweiligen Urhebers referenziert. Die in den Forschungstätigkeiten gewonnenen Erkenntnisse und Expertisen wurden zudem genutzt, um jungen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern in ihren Forschungsvorhaben zu unterstützen. (Bargheer und Schmidt 2015)