

Studienreports des Lehrstuhls für Produktionswirtschaft, Band 5

# Robustheit in Produktionssystemen aus Sicht der industriellen Praxis



## **Impressum**

Stockmann, Christian / Winkler, Herwig: Robustheit in Produktionssystemen aus Sicht der industriellen Praxis

Schriftenreihe: Studienreports des Lehrstuhls für Produktionswirtschaft, Band 5

Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg  
IKMZ – Universitätsbibliothek

Cottbus, 10. September 2020

DOI: <https://doi.org/10.26127/BTUOpen-5241>

<b>Vorwort</b>	<b>5</b>
<b>Executive Summary</b>	<b>6</b>
<b>I. Einleitende Vorbemerkungen zur Studie</b>	<b>7</b>
1. Begrifflichkeiten im Zusammenhang des Studienreports	8
2. Stand der Forschung und Motivation	9
<b>II. Design der vorliegenden Studie</b>	<b>10</b>
1. Wissenschaftliche Konzeption der Untersuchung	11
2. Aufbau des Online-Fragebogens	12
3. Durchführung der Datenerhebung	13
<b>III. Strukturelle Daten der verwendeten Stichprobe</b>	<b>14</b>
1. Einladungen zur Studienteilnahme und Rückläuferquote	15
2. Branchenzugehörigkeit der Studienteilnehmer	16
3. Größe der Unternehmen nach Umsatz und Mitarbeiteranzahl	17
4. Wertschöpfungskettenpositionen und Arten von Produktionssystemen	18
5. Tätigkeitsbereiche der Studienteilnehmer	19
<b>IV. Ergebnisse zum Verständnis von Robustheit in Produktionssystemen</b>	<b>20</b>
1. Vorhandensein eines klaren Verständnisses von Robustheit	21
2. Ausführungen zum individuellen Verständnis von Robustheit	22
3. Bewertung des Definitionsvorschlags zu Robustheit	25
4. Zusammenhang zwischen Robustheit und verwandten Begriffen	26

<b>V. Ergebnisse zur Relevanz und Status Quo von Robustheit</b>	<b>27</b>
1. Priorisierung von Robustheit in Bezug auf andere Zieldimensionen	28
2. Einschätzung des momentanen Robustheitsniveaus	29
3. Auftrittshäufigkeit eines Mangels an Robustheit	31
4. Einfluss von Industrie 4.0 auf die Robustheit	32
<b>VI. Ergebnisse zu Einflüssen und Maßnahmen hinsichtlich Robustheit</b>	<b>35</b>
1. Identifizierung der stärksten bzw. häufigsten Beeinträchtigungen	36
2. Bewertung von Maßnahmen und deren Einsatz in der Praxis	37
<b>VII. Ergebnisse zu Ansätzen zur Bewertung der Robustheit</b>	<b>40</b>
1. Evaluierung der Notwendigkeit eines Bewertungsansatzes	41
2. Nutzung von Bewertungsansätzen in der Praxis	42
3. Beschreibung von bereits eingesetzten Bewertungsansätzen	44
4. Gründe für die Nichtnutzung eines Bewertungsansatzes	46
5. Bestimmung von sinnvollen Bewertungskontexten	47
<b>VIII. Generelles Feedback der Teilnehmer zum Studienthema</b>	<b>49</b>
<b>IX. Fazit aus den Studienergebnissen</b>	<b>51</b>
<b>X. Literaturverzeichnis</b>	<b>53</b>
<b>XI. Weitere Studienreports des Lehrstuhls für Produktionswirtschaft</b>	<b>58</b>

Aktuell sind Produktionssysteme mit einer zunehmenden Unsicherheit und Instabilität konfrontiert, sodass Störungen oder ungeplante Veränderungen schnell zu massiven Beeinträchtigung der Leistungsfähigkeit führen können. Zum einen liegt das an einem immer volatileren Marktumfeld, das von steigenden Kundenerwartungen und internationalerem Wettbewerb geprägt ist. Zum anderen werden die Produktionssysteme selbst immer komplexer. Derzeit führen insbesondere kürzere Planungszyklen und/oder der Einzug zunehmend vernetzter (IT-)Systeme zu einer höheren Komplexität. Damit Unternehmen unter solchen Bedingungen leistungs- und wettbewerbsfähig bleiben, ist es essentiell, bei der Konfiguration von Produktionssystemen, eine hohe Robustheit gegenüber Störungen und ungeplanten Veränderungen einzuplanen.

Trotz einer Vielzahl an modelltheoretischen Studien zu Robustheit im (erweiterten) Produktionskontext hat sich bis dato kein etabliertes Verständnis darüber herausgebildet, was Robustheit in einem Produktionssystem überhaupt bedeutet, in welchem Zusammenhang es mit anderen Fähigkeiten, wie bspw. Flexibilität oder Resilienz, steht oder wie man sie sinnvoll messen kann. Dies mag auch daran liegen, dass die Einschätzungen und Vorgehensweisen aus der industriellen Praxis bislang nur wenig Berücksichtigung fanden.

Deshalb verfolgt diese Studie das Ziel, folgende vier Aspekte von Robustheit in Produktionssystemen aus Sicht der Praxis empirisch zu analysieren:

- Welches Verständnis von Robustheit in Produktionssystemen liegt vor?
- Wie wird die momentane Robustheit von Produktionssystemen von Entscheidungsträgern in der Praxis beurteilt?
- Welche Einflüsse sind besonders schädlich für die Robustheit und welche Maßnahmen führen zu einer Verbesserung?
- Wie relevant ist die Möglichkeit, Robustheit systematisch zu bewerten, und welche Ansätze werden dazu ggf. schon verfolgt?

Die hohe Beteiligung sowie die durchwegs positiven Rückmeldungen bescheinigen uns, dass die Studie ein substantielles Thema aufgreift, das insbesondere vor dem Hintergrund globaler Krisen wichtiger denn je erscheint.

An dieser Stelle möchten wir uns noch einmal bei den 199 Studienteilnehmern bedanken und hoffen, dass unsere Arbeit auf ein breites Interesse bei der Leserschaft stößt. Für einen vertieften fachlichen Austausch stehen wir gerne zur Verfügung.

Univ.-Prof. Dr. habil. Herwig Winkler  
Christian Stockmann, M.Sc.

## Kernaussagen der Studie

- Im Zeitraum von **Juni bis Juli 2020** wurde vom Lehrstuhl für Produktionswirtschaft der BTU Cottbus-Senftenberg die Studie mit dem Titel „**Robustheit in Produktionssystemen**“ als Online-Umfrage durchgeführt. **199 Personen** mit leitenden oder planenden Funktionen in der Produktion oder im Gesamtunternehmen beantworteten den Fragebogen vollständig.
- Die Studie zeigt, dass bei vielen Praktikern **kein sehr klares Bild vorherrscht, was Robustheit in Produktionssystemen überhaupt bedeutet**. Dabei wird der Robustheit als relativ **wichtige Zieldimension in der Produktion** aufgefasst. Zwar wird sie als nachrangig zur Produktqualität und zur Performance (z.B. Produktivität), aber wichtiger als der effiziente Ressourceneinsatz beurteilt.
- Dennoch bescheinigen nur **wenige Teilnehmer ihrem Produktionssystem momentan eine sehr gute oder gute Robustheit**. Insbesondere Mittelständler verspüren ein Defizit an Robustheit. Die meisten Praktiker wurden in den letzten 12 Monaten circa **einmal pro Woche** mit Situationen konfrontiert, in denen eine **höhere Robustheit wünschenswert** gewesen wäre.
- Die häufigste und stärkste Beeinträchtigung der Robustheit stellen **Anlagenausfälle bzw. technische Störungen** dar. Zusammengekommen repräsentieren aber Probleme aus dem Bereich **Personal** (z.B. Mitarbeitermangel oder Qualifikation) und **Material / Lieferant** (z.B. fehlendes oder schlechtes Material von Lieferanten oder Vorprozessen) die meistgenannten Beeinträchtigungen.
- Konsequenterweise werden die **Qualifikation von Mitarbeitern** in Themen wie Lean, 6Sigma oder Prozessmanagement sowie adäquate **Instandhaltungsstrategien** als die geeignetsten Maßnahmen zur Steigerung der Robustheit angesehen. Allerdings werden diese Maßnahmen nur in circa einem Drittel der Unternehmen flächendeckend eingesetzt.
- Mit dem Einzug der **Industrie 4.0 in die Produktion** wird von einem durchaus **positiven Effekt** auf die Robustheit ausgegangen. Technisch stellen v.a. die **Verfügbarkeit von Daten in Echtzeit**, deren weiterführende Analyse („**Big Data**“) und die **vertikale Integration** (Verknüpfung von IT-Systemen unterschiedlicher Hierarchiestufen) geeignete Hebel dar, um die Robustheit zu erhöhen. Erwartungsgemäß ist der flächendeckende Einsatz von typischen Instrumenten der Industrie 4.0 in der Praxis noch relativ gering.
- Während sich fast alle Befragten einig sind, dass ein **Ansatz zur systematischen Evaluierung der Robustheit wichtig** sei, wird ein solcher nur in weniger als einem Viertel der Betriebe eingesetzt. **Fehlende Verantwortlichkeiten, mangelnde Kenntnis** eines adäquaten Ansatzes und der vermeintlich **große Aufwand** sind die Hauptgründe für das Fehlen einer systematischen Bewertung.
- In den wenigen Betrieben, in denen eine systematische Robustheitsbewertung Anwendung findet, wird hierzu meist ein **Tracking von gewissen Produktionskennzahlen** (v.a. OEE), gefolgt von **Audits / Risk Assessments** (z.B. FMEA) eingesetzt.

<b>Vorwort</b>	<b>5</b>
<b>Executive Summary</b>	<b>6</b>
<b>I. Einleitende Vorbemerkungen zur Studie</b>	<b>7</b>
1. Begrifflichkeiten im Zusammenhang des Studienreports	8
2. Stand der Forschung und Motivation	9
<b>II. Design der vorliegenden Studie</b>	<b>10</b>
1. Wissenschaftliche Konzeption der Untersuchung	11
2. Aufbau des Online-Fragebogens	12
3. Durchführung der Datenerhebung	13
<b>III. Strukturelle Daten der verwendeten Stichprobe</b>	<b>14</b>
1. Einladungen zur Studienteilnahme und Rückläuferquote	15
2. Branchenzugehörigkeit der Studienteilnehmer	16
3. Größe der Unternehmen nach Umsatz und Mitarbeiteranzahl	17
4. Wertschöpfungskettenpositionen und Arten von Produktionssystemen	18
5. Tätigkeitsbereiche der Studienteilnehmer	19
<b>IV. Ergebnisse zum Verständnis von Robustheit in Produktionssystemen</b>	<b>20</b>
1. Vorhandensein eines klaren Verständnisses von Robustheit	21
2. Ausführungen zum individuellen Verständnis von Robustheit	22
3. Bewertung des Definitionsvorschlags zu Robustheit	25
4. Zusammenhang zwischen Robustheit und verwandten Begriffen	26

- Unter einem **Produktionssystem** wird im Rahmen der Studie ein leistungserbringendes Subsystem eines ökonomischen Systems verstanden, das systematisch Input zu Output generiert.<sup>1</sup> Somit kann es sich je nach Betrachtungswinkel um ein ganzes Werk, eine Fertigungslinie oder lediglich einen einzelnen Fertigungs- oder Montageschritt handeln.
- Auf eine vorangestellte **Formaldefinition des Begriffs der Robustheit wurde bewusst verzichtet**. Dadurch konnten sich die Teilnehmer unvoreingenommen Gedanken über ihr individuelles Begriffsverständnis sowie über den Definitionsvorschlag, der im Zuge der Studie zu bewerten ist, machen.
- **Flexibilität** beschreibt die Fähigkeit eines Systems, angemessen und effizient auf veränderte Bedingungen in der Produktion antworten zu können.<sup>2</sup> Im Produktionskontext handelt es sich hierbei insbesondere um Veränderungen der Auftragsituation. Der Fokus liegt dabei vielmehr auf der Reaktion als auf proaktiven Aktivitäten.<sup>3</sup>
- **Agilität** zielt vor allem auf die Reaktion auf unvorhergesehene Störungen und Veränderungen des Marktes ab.<sup>4</sup> Im direkten Vergleich zu Flexibilität erlaubt sie eine besonders schnelle Antwort, die v.a. die grundlegende Konfiguration des Systems umfasst.<sup>5</sup>
- **Resilienz** repräsentiert die Fähigkeit eines Systems, schnell nach Störungen wieder in einen stabilen Zustand zurückzukehren.<sup>6</sup> Sie hat demnach zum Ziel, die Auswirkungen eines negativen Systemeinflusses zu kompensieren.
- **Resistenz** beschreibt die Fähigkeit eines Systems, Störungen gänzlich zu widerstehen.<sup>7</sup> Dementsprechend kommt es beim Auftreten von Störungsursachen zu keinen Abweichungen der Performance des Systems.
- Der Begriff **Industrie 4.0** beruht auf einer Initiative der Bundesregierung aus dem Jahre 2011. Sie sollte die Transformation der Industrie vom damaligen Stand hin zu einer Industrie, die vom Internet der Dinge sowie von sog. Cyber-Physischen Systemen geprägt ist, vollziehen und damit eine vierte industrielle Revolution einleiten.<sup>7</sup> Eine hinreichend scharfe Begriffsdefinition gibt die Plattform Industrie 4.0,<sup>8</sup> die sich aus den Verbänden BITKOM, VDMA und ZVEI sowie Akteuren aus Wissenschaft, Politik und Gewerkschaften zusammensetzt.<sup>9</sup> Sie definiert Industrie 4.0 folgendermaßen: „*Im Mittelpunkt von Industrie 4.0 steht die echtzeitfähige, intelligente, horizontale und vertikale Vernetzung von Menschen, Maschinen, Objekten und IKT-Systemen zum dynamischen Management von komplexen Systemen.*“<sup>10</sup> Im Rahmen der Umfrage wird unter Industrie 4.0 deshalb kurzum die Digitalisierung bzw. die intelligente Vernetzung der Produktion mittels IKT-Technologien verstanden.

<sup>1</sup> Vgl. Dyckhoff (2006), S. 3 ff.    <sup>2</sup> Vgl. Jain et al. (2013), S. 5947    <sup>3</sup> Vgl. Luft/Besenfelder, (2014) S. 83    <sup>4</sup> Vgl. Sanchez/Nagi (2001), S. 3562

<sup>5</sup> Vgl. Bernardes/Hanna (2009), S. 37 ff.    <sup>6</sup> Vgl. Zhan/Luttervert (2011), S. 471; Wreathall (2006), S. 275    <sup>7</sup> Vgl. Durach et al. (2015), S. 123

<sup>8</sup> Vgl. Obermaier (2019), S. 3    <sup>9</sup> Vgl. Huber (2016), S. 7    <sup>10</sup> Vgl. BMWi (2019), S. 2    <sup>11</sup> Vgl. Bauer et al. (2014), S. 18



- Im Rahmen der Produktionsforschung wird **der Begriff der Robustheit sehr breit eingesetzt**.<sup>1</sup> Eine dieser Studie vorangegangene systematische Literaturrecherche ergab, dass der Begriff der Robustheit in verschiedensten Kontexten der Produktion verwendet wird, insbesondere im Rahmen von modelltheoretischen Optimierungsproblemen, bspw. von Produktionsplänen oder Prozessdesigns.<sup>2</sup> Allerdings werden in diesen Arbeiten **v.a. einzelne Aspekte von Robustheit** (bspw. das Systemverhalten bei Anlagenausfällen) adressiert und weniger Robustheit als ein ganzheitliches Konzept der Produktion.
- Nur ein sehr kleiner Teil der existierenden Beiträge zu Robustheit im Produktionskontext befasst sich mit der **konzeptionellen Bedeutung dieses Terms**.<sup>3</sup> Dabei herrscht zwar ein Konsens über das grundlegende Verständnis von Robustheit in Produktionssystemen, allerdings sind auch Differenzen oder gar Widersprüche in der Begriffsinterpretation zu erkennen. In Kombination mit der Tatsache, dass bis dato **die Einschätzungen der industriellen Praxis kaum wissenschaftlich erfasst** wurden, könnte dies der Grund dafür sein, dass sich noch kein einheitliches Verständnis von Robustheit in Produktionssystemen etabliert hat.
- Im Schrifttum wird **Robustheit häufig synonym mit anderen Begriffen** verwendet. Auf Unterschiede und Zusammenhänge gehen weniger als eine Handvoll von Studien ein. An dieser Stelle sei die Arbeit von STRICKER/LANZA hervorgehoben, die zahlreiche andere Fähigkeiten in Bezug zu Robustheit im Produktionskontext setzt.<sup>4</sup> Jedoch werden auch hier von anderen Autoren teilweise konträrere Auffassungen vertreten.<sup>5</sup> Überdies wurde bis dato noch kaum wissenschaftlich erörtert, welche **relative Wichtigkeit die Robustheit** im Vergleich zu anderen Zieldimensionen eines Produktionssystem aufweist.
- Neben den verschiedenen Interpretationen von Robustheit in Produktionssystemen und den zahlreichen Anwendungskontexten werden im Schrifttum auch einige Ansätze entwickelt, wie man **Robustheit erfassen und bewerten** könnte.<sup>6</sup> Meist wird sich dabei aber auf gewisse Teilaspekte eines Produktionssystem beschränkt, wie bspw. zeitlichen Aspekten im Ablaufplan.<sup>7</sup> Inwieweit sich solche Bewertungsmethoden auch **in der industriellen Praxis durchgesetzt** haben und welchen Stellenwert sie dort einnehmen, ist jedoch gänzlich unbekannt.

<sup>1</sup> Vgl. Li/Ying (2009), S. 1442    <sup>2</sup> bspw. Du et al. (2018), S. 253 ff., Jakubovskis (2017), S. 77 ff.

<sup>3</sup> Vgl. Egri et al. (2016), S. 14 f.; Stricker et al. (2015), S. 415 ff.; Luft/Besenfelder (2014), S. 82 f.; Mondal et al. (2014), S. 521; Stricker/Lanza (2014), S. 87 ff.; Tolio et al. (2011), S. 489 f.; Mondal et al. (2010), S. 157; Sabuncuoglu/Goren (2009), S. 141

<sup>4</sup> Vgl. Stricker/Lanza (2014), S. 87 ff.    <sup>5</sup> Vgl. bspw. Luft/Besenfelder (2014), S. 82 f.; Sabuncuoglu/Goren (2009), S. 141

<sup>6</sup> Vgl. bspw. Vgl. Giannetti/Ransing (2016), S. 73 ff.; Benderbal et al. (2015), S. 1022 f.; Rossi (2010), S. 1026 ff.

<sup>7</sup> Vgl. bspw. Himmiche et al. (2018), S. 272 ff.; Xiong et al. (2013), S. 116 f.

<b>Vorwort</b>	<b>5</b>
<b>Executive Summary</b>	<b>6</b>
<b>I. Einleitende Vorbemerkungen zur Studie</b>	<b>7</b>
1. Begrifflichkeiten im Zusammenhang des Studienreports	8
2. Stand der Forschung und Motivation	9
<b>II. Design der vorliegenden Studie</b>	<b>10</b>
1. Wissenschaftliche Konzeption der Untersuchung	11
2. Aufbau des Online-Fragebogens	12
3. Durchführung der Datenerhebung	13
<b>III. Strukturelle Daten der verwendeten Stichprobe</b>	<b>14</b>
1. Einladungen zur Studienteilnahme und Rückläuferquote	15
2. Branchenzugehörigkeit der Studienteilnehmer	16
3. Größe der Unternehmen nach Umsatz und Mitarbeiteranzahl	17
4. Wertschöpfungskettenpositionen und Arten von Produktionssystemen	18
5. Tätigkeitsbereiche der Studienteilnehmer	19
<b>IV. Ergebnisse zum Verständnis von Robustheit in Produktionssystemen</b>	<b>20</b>
1. Vorhandensein eines klaren Verständnisses von Robustheit	21
2. Ausführungen zum individuellen Verständnis von Robustheit	22
3. Bewertung des Definitionsvorschlags zu Robustheit	25
4. Zusammenhang zwischen Robustheit und verwandten Begriffen	26

- Generell existieren zahlreiche verschiedene Methoden der empirischen Sozialforschung. Im Gegensatz zu anderen gängigen Methoden zeichnet sich die **Umfrage** jedoch dadurch aus, dass sie für einen aktuellen Sachverhalt geeignet ist, der vom Forscher nicht beeinflusst werden kann und bei der Beantwortung der Fragestellungen *Wer?*, *Was?*, *Wo?* und *Wieviel?* hilft.<sup>1</sup> Sie ist deshalb für die vorliegende Problemstellung besonders zweckdienlich.
- Eine Umfrage als Form der quantitativen Forschung kann wiederum mit Hilfe unterschiedlichster Medien durchgeführt werden, z.B. telefonisch, schriftlich mittels postalischer oder elektronischer Übermittlung des Fragebogens oder mithilfe einer Online-Plattform.<sup>2</sup> Mit Ausnahme der telefonischen Durchführung der Interviews ist allen anderen Formen gemein, dass ein **hoher Grad an Standardisierung** zum Tragen kommt.
- Durch die starre Vorgabe exakt formulierter Fragen und einer bei allen Teilnehmern gleichen Struktur im Fragebogen wird somit für alle Befragten die gleiche Interviewsituation geschaffen. Die Online-Befragung bietet heutzutage gegenüber der papiergestützten Umfrage einige weitere Vorteile: Sie lässt sich insgesamt schneller durchführen, ist erheblich günstiger bzw. aufwandsärmer und bietet eine höhere Qualität, da das Verhalten der Befragten aufgezeichnet wird und somit Abbrecherquote o.Ä. statistisch erfasst werden.<sup>3</sup> Die vorliegende **Studie wurde deshalb als Online-Befragung** konzipiert.
- Da der Fokus der Studie auf der gesamthaften Beurteilung der Robustheit in Produktionssystemen liegt, wurden **Werks- und Betriebsleiter, Produktionsleiter und -planer, Geschäftsführer, CEOs sowie COOs** befragt. Es wurden somit ausschließlich Personen in leitenden oder planenden Funktionen in der Produktion selbst oder des Gesamtunternehmens angesprochen.
- Da nicht die Meinung aus Unternehmens-, sondern aus Anwendersicht erhoben werden soll, setzt sich die **Grundgesamtheit** aus natürlichen Personen zusammen. In der Folge musste demnach nicht zwingend verhindert werden, dass aus einem Unternehmen mehrere Beschäftigte an der Studie teilnehmen.
- Die vorliegende Studie versucht insbesondere die Sicht der industriellen Praxis auf das Thema Robustheit in Produktionssystemen im deutschsprachigen Raum zu erfassen. Deshalb wurde der Fragebogen nur auf deutsch erstellt und der **Teilnehmerkreis auf Deutschland, Österreich und die Schweiz** begrenzt.

<sup>1</sup> Vgl. Yin (2014), S. 9 f.    <sup>2</sup> Vgl. Schnell et al. (2013), S. 314    <sup>3</sup> Vgl. Schnell et al. (2013), S. 368

- Die Umfrage gliederte sich in **sieben Abschnitte**:
  1. In der **Einleitung** wurde den Befragten noch vor Beginn der eigentlichen Umfrage kommuniziert, welches Ziel mit der Studie verfolgt wird, wer die Befragung durchführt und wie die Ergebnisse schlussendlich verwendet werden.
  2. Im ersten Befragungsabschnitt wurde das **allgemeine Verständnis** der Teilnehmer hinsichtlich des Terms der Robustheit in Produktionssystemen abgefragt.
  3. Die **Relevanz von Robustheit** im Vergleich zu anderen Zieldimensionen in der Produktion sowie der **Status Quo der Robustheit** im jeweiligen Produktionssystem der Befragten wurde im zweiten Block untersucht.
  4. Der dritte Befragungsabschnitt analysierte die **Robustheit beeinträchtigende Einflüsse** und führte eine Bewertung **robustheitssteigernder Maßnahmen** durch.
  5. Die **Verbreitung und Relevanz von Ansätzen zur Bewertung von Robustheit** in Produktionssystemen sowie Kontexte analysiert, in denen eine solche Bewertung sinnvoll erscheint, wurde im vierten Abschnitt untersucht.
  6. Im letzten, fünften Befragungsabschnitt wurden **strukturelle Daten** über das Unternehmen, in dem sich das jeweilige Produktionssystem befindet, sowie über die Teilnehmer selbst erhoben.
  7. Die Umfrage schloss mit dem siebten Abschnitt, in dem die Möglichkeit bestand, generelle Kommentare zum Thema Robustheit in Produktionssystemen oder zur Studie selbst, abzugeben.
- Die Studie war so ausgearbeitet, dass sie eine **Bearbeitungszeit von circa 15 Minuten** in Anspruch nahm (Median Bearbeitungszeit der Teilnehmer = 17 Minuten).
- Die Entwicklung des Fragebogens erfolgte iterativ in mehreren Abstimmungsrunden und **Pretests** mit Experten aus der Praxis sowie Mitarbeitern des Lehrstuhls für Produktionswirtschaft.
- Die **Fragen waren zum größten Teil geschlossen**, d.h. mit vorgegeben Antwortmöglichkeiten, formuliert. Bei sechs Fragen war eine Beantwortung zwingend notwendig, um zum nächsten Abschnitt der Umfrage zu gelangen (Pflichtfragen).

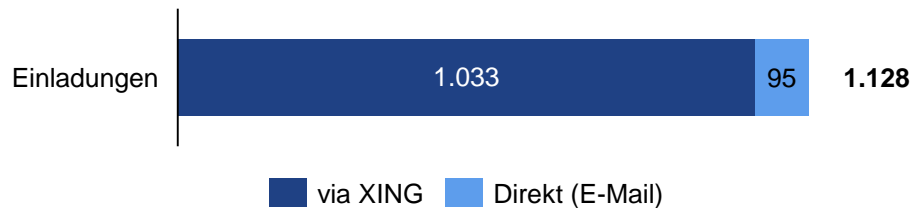
- Die Studie wurde ausschließlich als Online-Befragung mit Hilfe der Software **LimeSurvey** (Version 4.3.8+200803) über die Website der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus-Senftenberg durchgeführt.
- Die Teilnahme war **ohne Zugangsschlüssel** möglich. Die Einladungen wurden jedoch größtenteils persönlich und zielgerichtet verschickt.
- Die Befragung erfolgte im Zeitraum von **Juni bis Juli 2020**.
- Die **Grundgesamtheit** der zu untersuchenden Objekte besteht in Folge der Studienkonzeption aus der Menge aller Werks- und Betriebsleiter, Produktionsleiter und -planer, Geschäftsführer, CEOs sowie COOs in industriellen Produktionsunternehmen. Da hierfür keine Zahlen vorliegen, ist die Definition einer repräsentativen Stichprobe nicht möglich.<sup>1</sup>
- Die Einladung potentieller Teilnehmer durch Weiterleitung des Hyperlinks zur Online-Befragung erfolgte auf fünf Wegen:
  1. Anschreiben von Personen über das **Business-Netzwerk XING**, die laut ihrem Netzwerkprofil momentan einer Tätigkeit als Werksleiter, Betriebsleiter, Produktionsleiter, Produktionsplaner, CEO, COO oder Geschäftsführer in einem verarbeitenden Betrieb im deutschsprachigen Raum nachgehen.
  2. Kontaktierung von **persönliche Kontakten** per E-Mail und Xing.
  3. Personalisierte Rundmail an (ehemalige) **Projektpartner und Interessenten des Lehrstuhls für Produktionswirtschaft**.
  4. Rundmail an die **Mitglieder der Produktionswissenschaftlichen Vereinigung Berlin-Brandenburg e.V.**
  5. Veröffentlichung des Hyperlinks auf der **Homepage des Innovationszentrums Moderne Industrie Brandenburg**.

<sup>1</sup> Vgl. Schnell et al. (2013), S. 296 f.

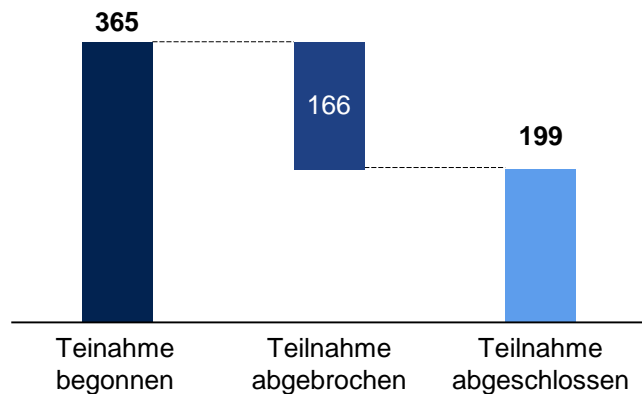
<b>Vorwort</b>	<b>5</b>
<b>Executive Summary</b>	<b>6</b>
<b>I. Einleitende Vorbemerkungen zur Studie</b>	<b>7</b>
1. Begrifflichkeiten im Zusammenhang des Studienreports	8
2. Stand der Forschung und Motivation	9
<b>II. Design der vorliegenden Studie</b>	<b>10</b>
1. Wissenschaftliche Konzeption der Untersuchung	11
2. Aufbau des Online-Fragebogens	12
3. Durchführung der Datenerhebung	13
<b>III. Strukturelle Daten der verwendeten Stichprobe</b>	<b>14</b>
1. Einladungen zur Studienteilnahme und Rückläuferquote	15
2. Branchenzugehörigkeit der Studienteilnehmer	16
3. Größe der Unternehmen nach Umsatz und Mitarbeiteranzahl	17
4. Wertschöpfungskettenpositionen und Arten von Produktionssystemen	18
5. Tätigkeitsbereiche der Studienteilnehmer	19
<b>IV. Ergebnisse zum Verständnis von Robustheit in Produktionssystemen</b>	<b>20</b>
1. Vorhandensein eines klaren Verständnisses von Robustheit	21
2. Ausführungen zum individuellen Verständnis von Robustheit	22
3. Bewertung des Definitionsvorschlags zu Robustheit	25
4. Zusammenhang zwischen Robustheit und verwandten Begriffen	26

## Ergebnis

## Einladungen



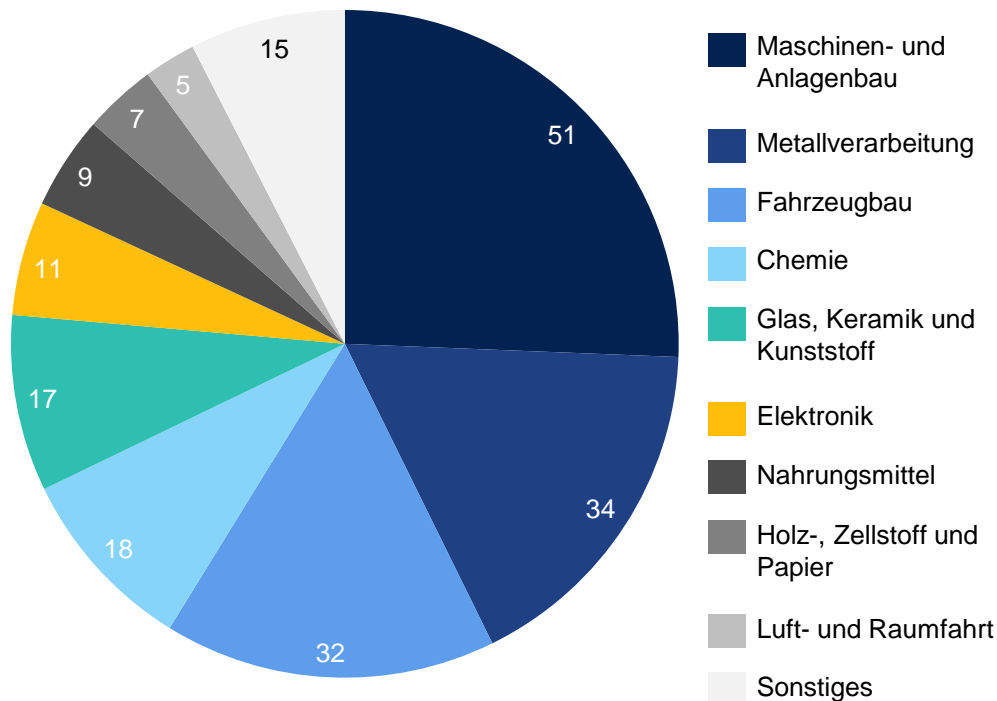
## Rücklauf



## Aussagen

- 1.128 Personen wurden persönlich zur Studienteilnahme eingeladen, mittels
  - persönlichen Nachrichten im Business-Netzwerk XING,
  - E-Mails an Projektpartner des Lehrstuhls, Mitglieder der Produktionswissenschaftlichen Vereinigung Berlin-Brandenburg e.V. und persönliche Kontakte.
- Ferner wurde der Umfragelink auf der Homepage des Innovationszentrums Moderne Industrie Brandenburg veröffentlicht.
- 365 Personen nahmen an der Umfrage teil, 199 beantworteten die Fragebogen vollständig.
- Die Rücklaufquote (Anteil an vollständigen Antworten) entspricht damit circa 18%.
- Die Befragten kamen aus dem deutschsprachigen Raum (v.a. Deutschland, teilweise Österreich sowie Schweiz).

## Ergebnis



Häufigkeit (absolut)

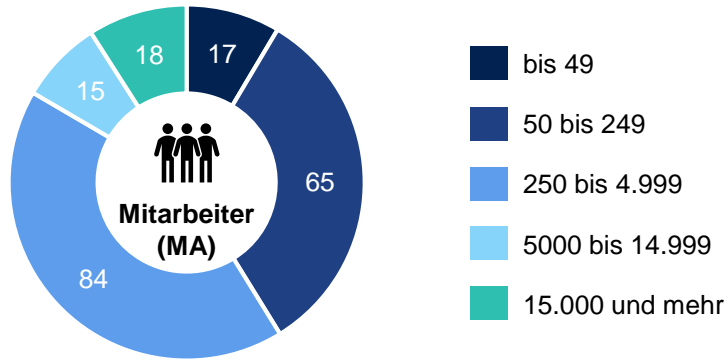
n = 199

## Aussagen

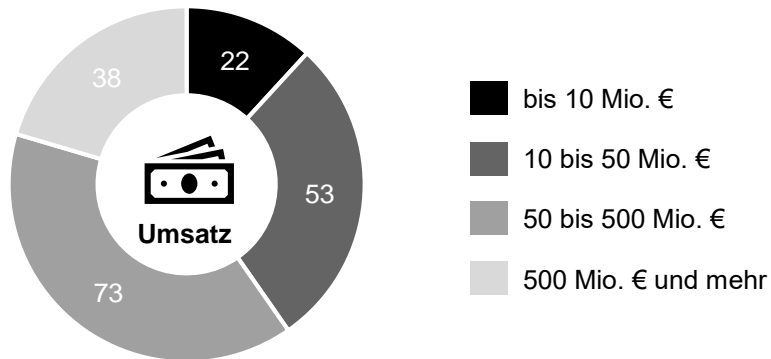
- Die größte Teilnehmergruppe entstammt dem Maschinen- und Anlagenbau (26%).
- Zudem sind die Metallverarbeitungsbranche (17%) und der Fahrzeugbau (16%) stark vertreten.
- Teilnehmer aus Branchen, die weniger als fünfmal erwähnt wurden, sind unter „Sonstiges“ zusammengefasst. Dies waren:
  - Konsumgüter
  - Pharma
  - Oberflächentechnik
  - Verpackungstechnik
  - Energietechnik
  - Analysetechnik
  - Munitionsproduktion
  - Bauindustrie



## Ergebnis



n = 199



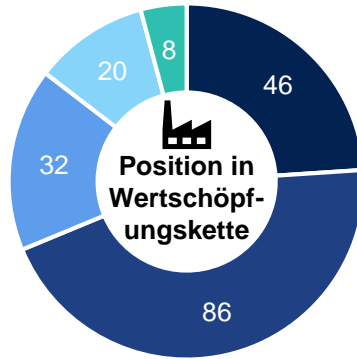
Häufigkeit (absolut)

n = 186

## Aussagen

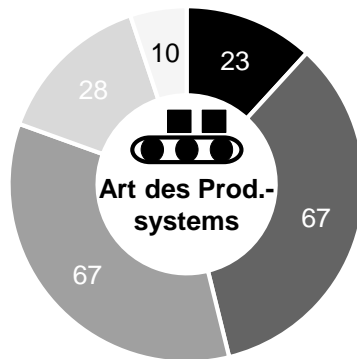
- Die größte Teilnehmergruppe (42%) stellen Beschäftigte aus großen Unternehmen (250-4.999 MA) dar.
- Circa ein Drittel der Befragten kommt aus mittelständischen Betrieben (50-249 MA oder 10-50 Mio. € Umsatz).
- 17% bzw. 20% arbeiten in sehr großen Unternehmen mit mehr als 5000 MA bzw. mehr als 500 Mio. € Umsatz.
- Ungefähr jeder Zehnte Teilnehmer entstammt einem kleinen Betrieb (bis 49 MA oder 10 Mio. € Umsatz).

### Ergebnis



- OEM
- System- / Komponentenlieferant
- Teilelieferant
- Rohstoffherzeugung / -lieferant
- Sonstiges

n = 192



- Diskrete Fertigung: Einzelfertigung
- Diskrete Fertigung: Kleinserienfertigung
- Diskrete Fertigung: Großserien- / Massenfertigung
- Prozessindustrie
- Sonstiges

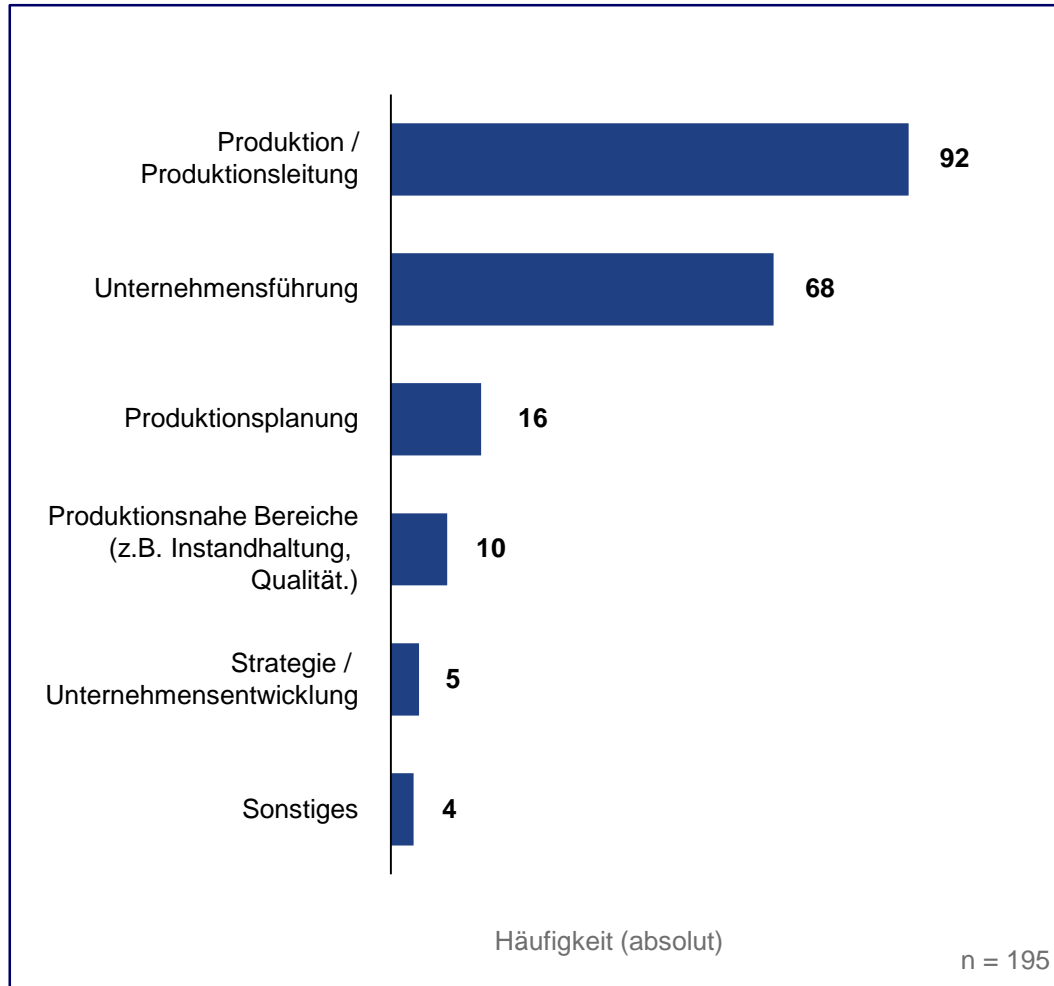
Häufigkeit (absolut)

n = 195

### Aussagen

- Die meisten Befragten (45%) sind in einem System- / Komponentenlieferanten beschäftigt.
- Mitarbeiter eines OEMs repräsentieren knapp ein Viertel der gesamten Stichprobe.
- Unter „Sonstiges“ fallen u.a. Betriebe, die mehrere Positionen in der Wertschöpfungskette einnehmen können.
- Die große Mehrheit (81%) der betrachteten Produktionssysteme sind diskrete Fertigungen.
- Jeweils 34% der Hersteller diskreter Güter fertigen Klein- bzw. Großserien, der Rest entfällt auf Einzelfertigungen.
- Lediglich 14% der Teilnehmer sind einem Produktionssystem der Prozessindustrie zuordbar.
- „Sonstiges“ umfasst Produktionssysteme, die flexibel in ihren Losgrößen sind.

## Ergebnis



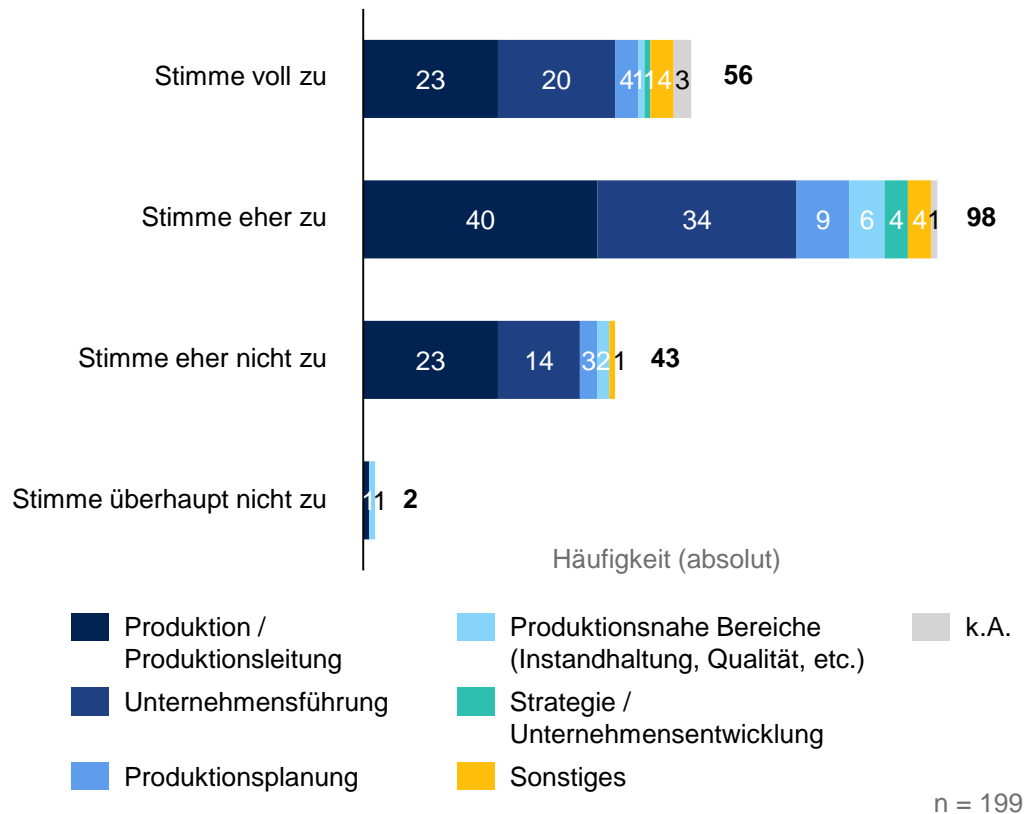
## Aussagen

- Fast die Hälfte der Teilnehmer (47%) ist direkt in der Produktion tätig. Da ausschließlich Personen in Führungspositionen kontaktiert wurden, kann davon ausgegangen werden, dass es sich dabei um Leiter von Werken, Linien, Produktionsbereichen, Schichten o.Ä. handelt.
- Über ein Drittel der Befragten arbeitet in der Unternehmensführung und repräsentiert damit die zweitgrößte Teilnehmergruppe.
- Beschäftigte aus produktionsnahen Bereichen (5%) und aus der Strategie/ Unternehmensentwicklung (3%) sind am wenigsten vertreten.
- Unter „Sonstiges“ fallen Angaben, die nicht zuordbar waren (bspw. „Industrialisierung“ oder „Produktionsnetzwerk“). Die gelegentlich hier erwähnte Funktion der Werksleitung wurde der Kategorie „Produktion / Produktionsleitung“ zugewiesen.

<b>Vorwort</b>	<b>5</b>
<b>Executive Summary</b>	<b>6</b>
<b>I. Einleitende Vorbemerkungen zur Studie</b>	<b>7</b>
1. Begrifflichkeiten im Zusammenhang des Studienreports	8
2. Stand der Forschung und Motivation	9
<b>II. Design der vorliegenden Studie</b>	<b>10</b>
1. Wissenschaftliche Konzeption der Untersuchung	11
2. Aufbau des Online-Fragebogens	12
3. Durchführung der Datenerhebung	13
<b>III. Strukturelle Daten der verwendeten Stichprobe</b>	<b>14</b>
1. Einladungen zur Studienteilnahme und Rückläuferquote	15
2. Branchenzugehörigkeit der Studienteilnehmer	16
3. Größe der Unternehmen nach Umsatz und Mitarbeiteranzahl	17
4. Wertschöpfungskettenpositionen und Arten von Produktionssystemen	18
5. Tätigkeitsbereiche der Studienteilnehmer	19
<b>IV. Ergebnisse zum Verständnis von Robustheit in Produktionssystemen</b>	<b>20</b>
1. Vorhandensein eines klaren Verständnisses von Robustheit	21
2. Ausführungen zum individuellen Verständnis von Robustheit	22
3. Bewertung des Definitionsvorschlags zu Robustheit	25
4. Zusammenhang zwischen Robustheit und verwandten Begriffen	26

### Ergebnis

**Ich habe ein klares Verständnis, was Robustheit in einem Produktionssystem bedeutet.** (Aufgeschlüsselt nach Tätigkeitsbereich der Teilnehmer)



### Aussagen

- Nur 28% der Befragten stimmen voll zu, ein klares Verständnis über die Bedeutung von Robustheit zu haben.
- Fast die Hälfte gibt an, zumindest in gewissem Maße ein klares Verständnis von Robustheit zu haben.
- Knapp ein Viertel (23%) stimmt eher nicht (22%) bzw. überhaupt nicht (1%) zu, ein klares Verständnis zu haben.
- Dieser Mangel wird v.a. von Teilnehmern aus der Produktion und aus produktionsnahen Bereichen erwähnt.
- Verhältnismäßig oft stimmen Unternehmensführer voll zu (29%), ein klares Verständnis zu haben.

## Ausgewählte Erläuterungen der Teilnehmer zu ihrem individuellen Verständnis von Robustheit\*

- Äußere planbare Störgrößen sind beherrscht und planerisch erfasst.
- Robust ist ein Produktionssystem, wenn es nicht anfällig auf Störeinflüsse von außen reagiert und trotz dieser Einflüsse Ergebnisse liefert, die innerhalb der definierten Spezifikationen liegen.
- Den Einfluss äußerer sowie innerer Änderungen stabil gegenüber zu stehen. Wobei mit Stabilität die Durchlaufzeit und die Produktmenge bei stabiler Ausschussmenge für mich bedeutet.
- ..., dass ein Produktionssystem bei Störungen, die dazu führen, dass der Soll-Prozess verlassen wird, definierte Wege hat, dass das System wieder zurück in einen definierten Prozess kommt.
- ..., dass der Output in keiner (oder nur sehr geringer) Abhängigkeit von möglichen internen oder externen Störgrößen steht. Dazu muss das PS auf Störungen reagieren können, diese nivellieren und so ein annähernd gleichbleibendes Ergebnis ermöglichen.
- Stabiler Prozess, solange die Varianz der Prozessinputs (Rohwaren, Mitarbeitereingriffe, usw.) innerhalb normaler Parameter ablaufen.
- 1. Stabile Prozesse mit bekannter Streubreite, 2. Essentielle Parameter sind bekannt und werden konsequent eingehalten. 3. Unabhängig von Einzelpersonen, 4. Schnelle Anpassung an Kundenanforderung, 5. Planbar (Zeit, Kosten).
- Kosten, Qualität und Termin prägen die Kernaufgabe einer Produktion, ergänzt um die Notwendigkeit zur Anpassung und Weiterentwicklung, also der Veränderungsdynamik. Robustheit beschreibt damit, inwieweit Störungen im erweiterten Sinne vom System ausgeregelt werden können, aber auch die Fähigkeit, diese Robustheit auch bei Veränderungen anzupassen & sicherzustellen
- Die Fähigkeit, mit standardisierten Abläufen oder Methoden auf neue Herausforderungen ohne großen Mehraufwand zu reagieren.
- ... System, welches weitgehend unempfindlich gegenüber äußeren Einflüssen ist. Ein robustes Produktionssystem zeichnet sich besonders durch Termintreue und die erreichte gute Qualität aus.
- Das magische Dreieck aus Termin, Qualität und Kosten wird stetig im Einklang gehalten!

\* Nur abgefragt, wenn in der vorangegangenen Multiple-Choice-Frage zur Klarheit über die Bedeutung von Robustheit Zustimmung geäußert wurde.

## Ausgewählte Erläuterungen der Teilnehmer zu ihrem individuellen Verständnis von Robustheit\*

- *richtige Definition der Grenzen.*
- *Den Einfluss äußerer sowie innerer Änderungen stabil gegenüber zu stehen. Wobei mit Stabilität die Durchlaufzeit und die Produktmenge bei stabiler Ausschussmenge für mich bedeutet.*
- *... Lieferziele trotz äußeren und auch plötzlich auftretenden Einflüssen / Störungen in einem noch akzeptablen Kostenrahmen und ohne Einbußen in der Qualität zu erreichen.*
- *Das Maß der Anfälligkeit eines Produktionssystems (Maschinen-Netzwerk, Diversifizierte Montagen mit Lieferketten, komplexe verfahrenstechnische Anlagen etc.) gegen äußere Störgrößen (Spezifikationsabweichung der Eingangsstoffe/-teile, Anlagenausfälle, Medienschwankungen, Personalausfälle ...).*
- *... Fähigkeit, sich immer wieder in einen Gleichgewichtszustand zu versetzen und jegliche Störung durch z.B. Maschinenausfälle oder einen krankheitsbedingten Personalengpass in kurzer Zeit wieder auszugleichen, so dass Aufträge terminlich, qualitativ und zu den kalkulierten Kosten gefertigt werden.*
- *Stabile technische Prozesse Z.B. OEE >80%; Sichere Produktion auch wenn Teile nicht ganz in der Spezifikation sind; Möglichkeiten das Produktionssystem bezüglich neuer Produktionstechnologien zu erweitern; Möglichkeit das Produktionssystem auf die nächsten 1-2 Produktgenerationen hoch zu rüsten.*
- *marktübliche Auftragsschwankungen +/- 5% können zeitnah abgebildet werden; cpk >1,33; OEE > 80%.*
- *Ein hoher Zielerreichungsgrad (>90-95%, persönliche Definition einer hohen Robustheit) trotz erhöhter Abweichungen bzw. produktionsbeeinflussenden Einflussfaktoren, die über das normale Maß (Grundrauschen) hinausgehen.*
- *Höchste Anlagenverfügbarkeit, Einhaltung aller qualitätsrelevanten Prozessparameter trotz Input-Schwankungen (z.B. Rohmaterial; Anlieferzustand, etc.), geringe Fehleranfälligkeit, wartungsfreundliches Design, Online-Überwachung der Prozessparameter.*
- *Jeder Teilbereich für sich ist optimal auf Reaktion und auf die Kompensation von Störeinflüssen ausgerichtet. Von der breiten Verteilung von Knowhow bis zur optimalen Ersatzteilhaltung.*

\* Nur abgefragt, wenn in der vorangegangenen Multiple-Choice-Frage zur Klarheit über die Bedeutung von Robustheit Zustimmung geäußert wurde.

## Ausgewählte Erläuterungen der Teilnehmer zu ihrem individuellen Verständnis von Robustheit\*

- *... alle Konstellationen an Produkteigenschaften und deren Toleranzen inkl. Grenzbereiche verarbeiten zu können. Hohe Lebensdauer der eingesetzten Komponenten. Störeinflüsse wie Temperaturen, Mitarbeiterqualifikationen ebenso zu berücksichtigen wie hohe wechselnde Aufträge und deren Rüstungen.*
- *Fähigkeit, eine Produktion trotz störender Einflüsse (Rohstoffengpässe, Maschinendefekte, Kundenwünsche etc.), im Rahmen festgelegter Parameter termintreu und gewinnbringend durchzuführen.*
- *Fähige Prozesse über die ganze Wertschöpfungskette (Beschaffung - Lager/Logistik - Produktionsstufen...), die in der Lage sind Störungen / Änderungen zu kompensieren und dabei Qualität, Termin, Kosten, Kundenzufriedenheit sicherstellen.*
- *So gut wie keine Störung.*
- *Ein Produktionssystem wird intern und extern durch Wechselwirkungen in seiner Leistungsfähigkeit, also seinem Output, beeinflusst. Robustheit dient dazu die Schwankungen der Wechselwirkungen zu dämpfen und die Systemantwort - in einem Produktionssystem den Output - möglichst schwankungsarm darzustellen.*
- *... wenn durch äußere Einflüsse, meistens negative Einflüsse, trotz all denen weiter konstant produziert werden kann.*
- *... wenn auftretende Fehler nicht zum Abbruch oder zur Unterbrechung der laufenden Produktion führen.*

\* Nur abgefragt, wenn in der vorangegangenen Multiple-Choice-Frage zur Klarheit über die Bedeutung von Robustheit Zustimmung geäußert wurde.



## Ergebnis

### Inwieweit stimmen Sie mit der folgenden allgemeinen Definition von Robustheit in Produktionssystemen überein?

Robustheit ist die Fähigkeit eines Produktionssystems, trotz jeglicher Art von Störungen und Veränderungen eine stabile Performance auf akzeptablem Niveau aufrechtzuerhalten, um Aufträge stets termin-, qualitäts- und kostengerecht bearbeiten zu können.

Häufigkeit (absolut)



#### Erläuterungen, weshalb eher nicht zugestimmt wird

- *Der Begriff Störungen ist unnötig. Entweder steht es zur Verfügung oder nicht. Für störanfällige Teile plant man Redundanzen/Ersatzteilhaltung etc. Der Effekt ist digital.*
- *Ein PS muss frei von Störungen sein, ansonsten ist es nicht robust. Ein akzeptables Niveau: das ist unglücklich ausgedrückt: es gibt nur eine Qualität innerhalb der der Spezifikationen oder außerhalb. Also gut oder nicht gut.*
- *Mir fehlt ein Verweis auf kurzfristige Bedarfsschwankungen, die sich bei uns innerhalb der marktgängigen Lieferzeiten um -100%/+100% bewegen*
- *„jegliche Art“ ist ein Idealbild und damit nicht realistisch abbildbar. Ab einer gewissen Häufigkeit/Art von Störungen wird jedes PS Einschränkungen in QKT aufweisen.*

n = 199

## Aussagen

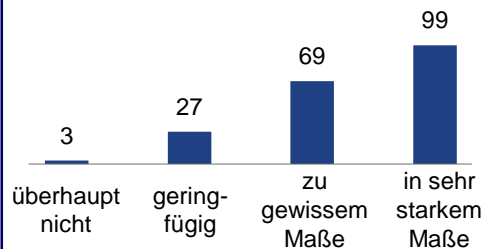
- Fast alle Teilnehmer (98%) stimmen dem Definitionsvorschlag zu, über zwei Drittel sogar voll und ganz.
- Keiner der Studienteilnehmer widerspricht dem Definitionsvorschlag komplett.
- Nur vier Befragte (2%) stimmen dem Vorschlag eher nicht zu. Sie merken u.a. an, dass der Begriff „Störungen“ nicht zweckdienlich sei.

## Ergebnis

**Inwieweit weist ein robustes Produktionssystem auch die folgenden Fähigkeiten auf?**

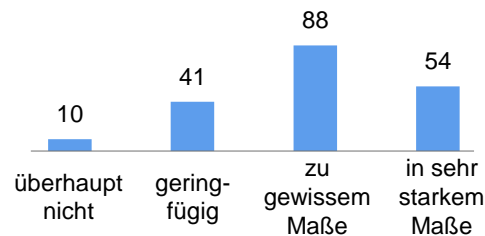
### Flexibilität

*Fähigkeit, angemessen und effizient auf  
 Auftragsänderungen zu reagieren*



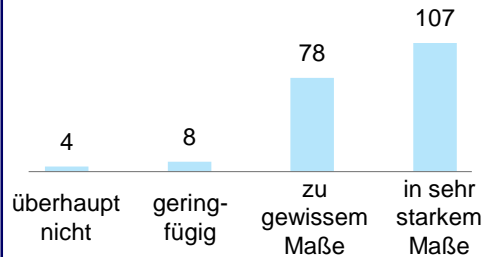
### Agilität

*Fähigkeit, sehr schnell auf unerwartete  
 Veränderungen des Marktes zu reagieren*



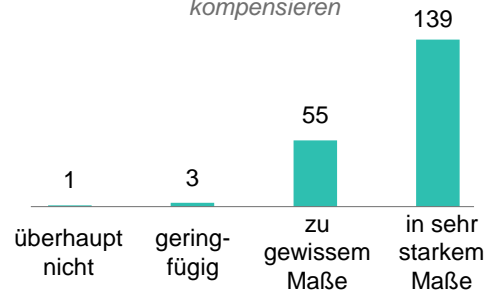
### Resistenz

*Fähigkeit, Störungen ohne jegliche  
 Abweichung der Performance standzuhalten*



### Resilienz

*Fähigkeit, Störungen rasch zu  
 kompensieren*



Häufigkeit (absolut)

n = 0197

## Aussagen

- Mind. drei Viertel der Befragten gehen bei jeder Fähigkeit davon aus, dass diese auch in robusten Produktionssystemen zumindest in gewissem oder gar in starkem Maße vorliegt.
- Hohe Einigkeit herrscht ( $\sigma=0,67$  bzw.  $\sigma=0,53$ ), dass Robustheit in starkem oder zu gewissem Maße mit Resistenz (94%) und Resilienz (98%) einhergeht.
- Für die meisten Teilnehmer (70%) ist ein robustes Produktionssystem v.a. auch in sehr starkem Maße resilient.
- Etwas Skepsis herrscht bei Agilität ( $\sigma=0,84$ ): nur 28% der Befragten sehen diese Fähigkeit in sehr starkem Maße auch in einem robusten System. Circa ebenso viele Teilnehmer sind sogar der Meinung, dass sie nur geringfügig (22%) oder überhaupt nicht (5%) mit Robustheit einhergeht.

*$\sigma$ : Standardabweichung (Maß für die Streuung der  
 gewählten Antwortoptionen)*

<b>V. Ergebnisse zur Relevanz und Status Quo von Robustheit</b>	<b>27</b>
1. Priorisierung von Robustheit in Bezug auf andere Zieldimensionen	28
2. Einschätzung des momentanen Robustheitsniveaus	29
3. Auftrittshäufigkeit eines Mangels an Robustheit	31
4. Einfluss von Industrie 4.0 auf die Robustheit	32
<b>VI. Ergebnisse zu Einflüssen und Maßnahmen hinsichtlich Robustheit</b>	<b>35</b>
1. Identifizierung der stärksten bzw. häufigsten Beeinträchtigungen	36
2. Bewertung von Maßnahmen und deren Einsatz in der Praxis	37
<b>VII. Ergebnisse zu Ansätzen zur Bewertung der Robustheit</b>	<b>40</b>
1. Evaluierung der Notwendigkeit eines Bewertungsansatzes	41
2. Nutzung von Bewertungsansätzen in der Praxis	42
3. Beschreibung von bereits eingesetzten Bewertungsansätzen	44
4. Gründe für die Nichtnutzung eines Bewertungsansatzes	46
5. Bestimmung von sinnvollen Bewertungskontexten	47
<b>VIII. Generelles Feedback der Teilnehmer zum Studienthema</b>	<b>49</b>
<b>IX. Fazit aus den Studienergebnissen</b>	<b>51</b>
<b>X. Literaturverzeichnis</b>	<b>53</b>
<b>XI. Weitere Studienreports des Lehrstuhls für Produktionswirtschaft</b>	<b>58</b>

### Ergebnis

Relative Priorisierung der Zieldimensionen Robustheit, Produktqualität, Performance und Ressourceneffizienz (Darstellung der am häufigsten genannten Rangfolgen)

Priorität



Anzahl der Nennungen der jeweiligen Rangfolge

47

29

jeweils 23

Performance: z.B. hohe Produktivität, niedrige Durchlaufzeiten oder hohe Fertigungs-Termtreue

Ressourceneffizienz: geringer Materialeinsatz

n = 196

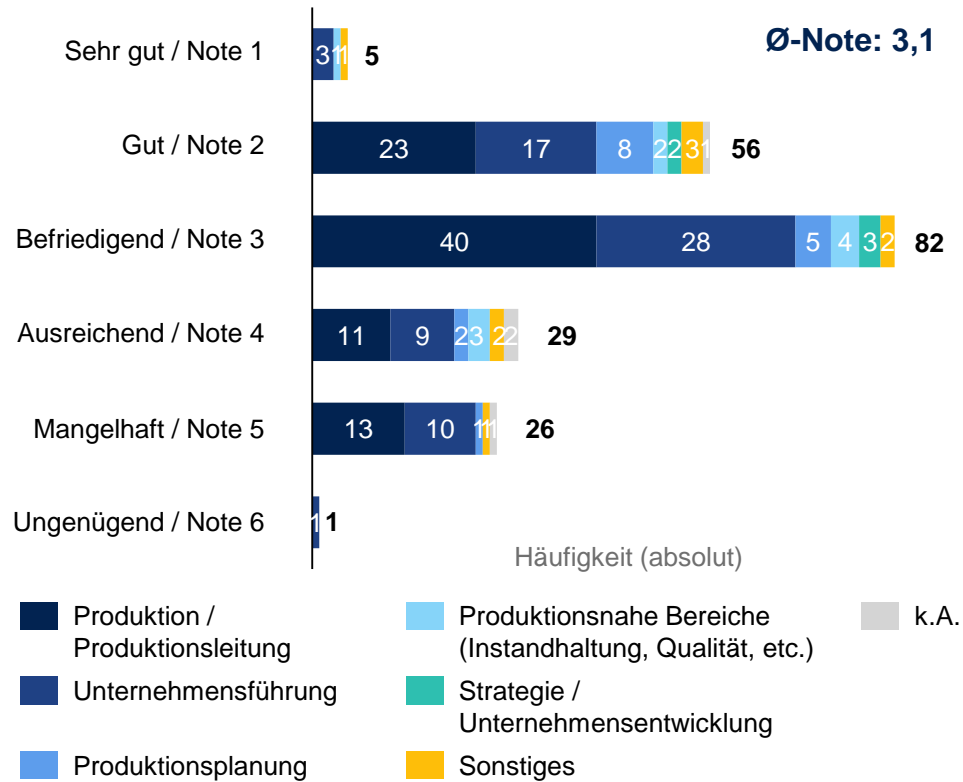
### Aussagen

- Knapp ein Viertel der Teilnehmer wählt die Prioritäts-Rangfolge Produktqualität-Performance-Robustheit-Ressourceneffizienz.
- Mit 15% wird die Rangfolge Performance-Produktqualität-Robustheit-Ressourceneffizienz am zweithäufigsten genannt.
- Die Mehrheit (58%) wertet eine Kombination aus Performance und Produktqualität als die beiden prioritärsten Ziele.\*
- Robustheit wird von knapp einem Drittel der Teilnehmer als oberstes Priorität (11%) oder als zweitwichtigstes Ziel (21%) angesehen.\*
- Mit folgenden Häufigkeiten werden die Zieldimensionen mit oberster Priorität angegeben:\*
  - Produktqualität: 52%
  - Performance: 33%
  - Robustheit: 11%
  - Ressourceneffizienz: 4%

\* Nicht vollständig aus Darstellung ablesbar.

## Ergebnis

Wie schätzen Sie die aktuelle Robustheit des Produktionssystems in Ihrem Unternehmen ein? (Aufgeschlüsselt nach Tätigkeitsbereich der Teilnehmer)

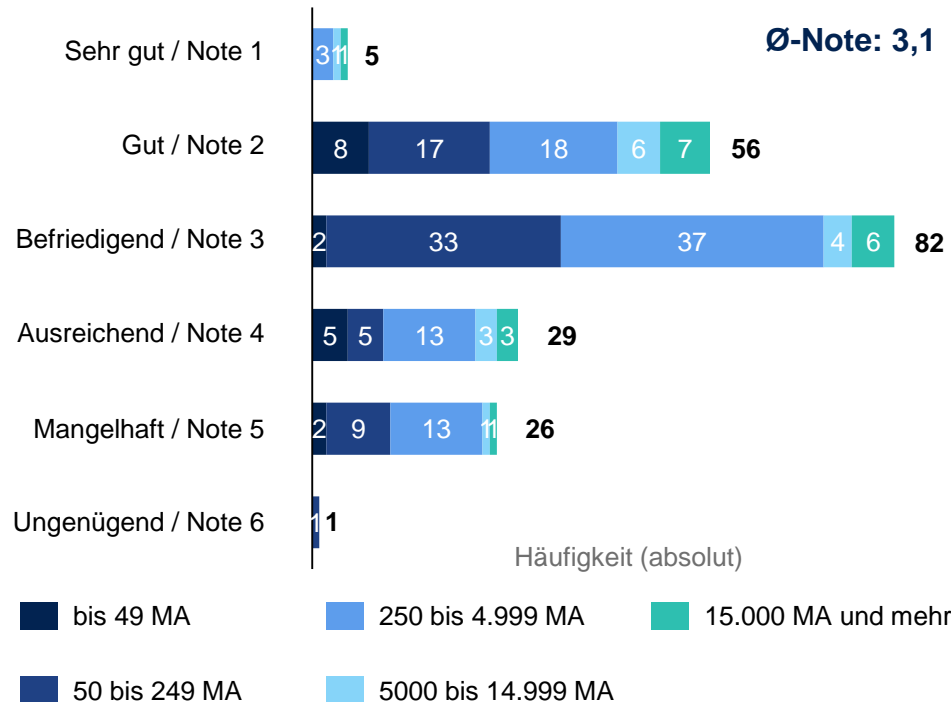


## Aussagen

- Nur 31% der Befragten bescheinigen ihrem Produktionssystem eine sehr gute (3%) oder gute (28%) Robustheit.
- Die Mehrheit (41%) bewertet das momentane Robustheitsniveau ihres Produktionssystems mit befriedigend.
- 14% benoten die Robustheit in ihrem Produktionssystem mit der Note 5 (13%) oder gar mit der Note 6 (1%).
- Teilnehmer aus der Produktion / Produktionsleitung beurteilen die aktuelle Robustheit mit einer Ø-Note von 3,2 am schlechtesten.
- Verhältnismäßig am zufriedensten sind Teilnehmer aus dem Bereich der Strategie / Unternehmensentwicklung (Ø-Note: 2,6)

## Ergebnis

Wie schätzen Sie die aktuelle Robustheit des Produktionssystems in Ihrem Unternehmen ein? (Aufgeschlüsselt nach Mitarbeiterzahl der Unternehmen)



MA: Mitarbeiter

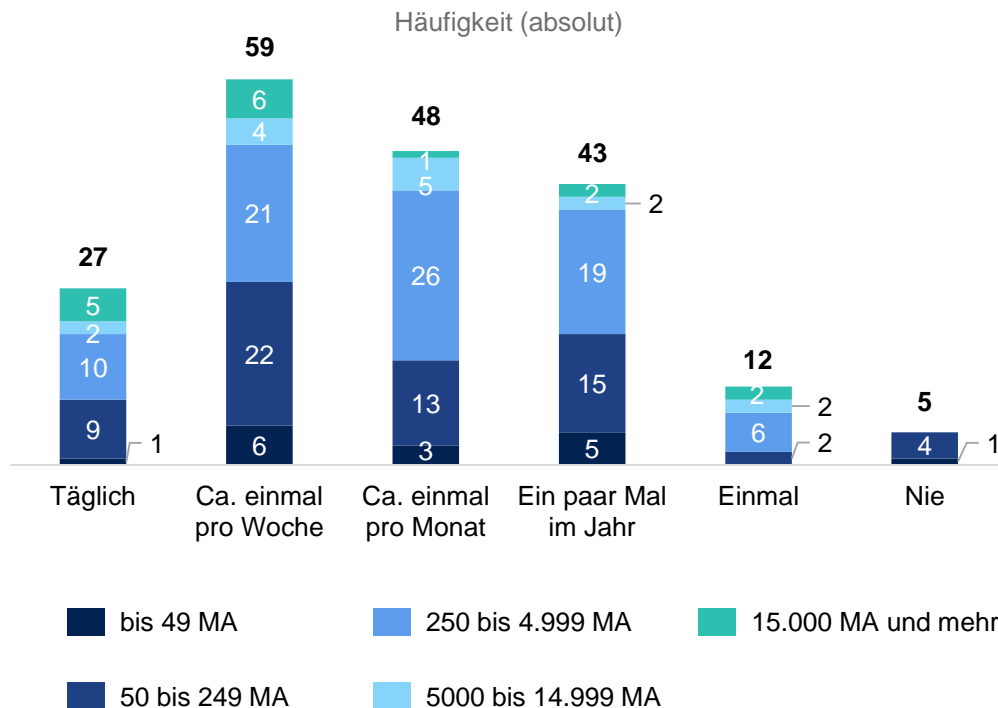
n = 199

## Aussagen

- Beschäftigte aus Mittelständlern (50-249 MA) und größeren Betrieben (250-4.999 MA) sehen die größten Potentiale in ihrer Robustheit, da sie am seltensten die Noten 1 und 2 sowie am häufigsten die Noten 5 und 6 vergeben (Ø-Note: 3,2).
- Befragte aus sehr großen Betrieben und Konzernen (5.000 MA und mehr) sind im Verhältnis am häufigsten mit dem Robustheitsniveau sehr zufrieden (Note 1) und vergeben nie die Note 6 und kaum die Note 5 (Ø-Note: 2,8).
- Im Mittelfeld liegen kleine Betriebe (bis 49 MA), deren Beschäftigte zwar im Vergleich zu den anderen Unternehmensgrößen am häufigsten die Note 2 (47%), aber auch oft die Note 5 vergeben (Ø-Note: 3,1).

## Ergebnis

Wie häufig kam es in den letzten 12 Monaten zu konkreten Situationen, in denen eine höhere Robustheit des Produktionssystems wünschenswert gewesen wäre? (Aufgeschlüsselt nach Mitarbeiterzahl der Unternehmen)



MA: Mitarbeiter

n = 194

## Aussagen

- Die meisten Befragten (30%) geben an, dass es circa einmal pro Woche zu einem Mangel an Robustheit kam.
- Bei 14% kam es in den letzten 12 Monaten sogar täglich zu Situationen mit einem Mangel an Robustheit.
- Lediglich 9% geben an, dass es nur einmal (6%) oder nie (3%) im letzten Jahr an Robustheit mangelte.
- Auffallend häufig tritt ein Robustheitsmangel bei Konzernen (>15.000 MA) auf, da mehr als zwei Drittel ihrer Beschäftigten angeben, dass es täglich (31%) oder wöchentlich (38%) zu solchen Situationen kam. Diese Gruppe bewertet ihr Robustheitsniveau in der Vorfrage aber mit am positivsten (Ø-Note: 2,8). Mögliche Erklärung: In einem großen System können an verhältnismäßig vielen Stellen (z.B. Prozessen) Robustheitsdefizite auftreten. Diese beeinträchtigen die Gesamtrobustheit aber verhältnismäßig weniger als in kleinen Produktionssystemen.

## Ergebnis

**Welchen Einfluss hat der Einzug von Industrie 4.0 auf die Robustheit in Ihrem Produktionssystem?**

Häufigkeit (absolut)



**Häufig genannte Aspekte der I. 4.0, die Robustheit positiv beeinflussen:**

- Automatisierte Datenanalysen erlauben frühzeitiges Eingreifen oder Selbstregelung
- Bessere Erfassung von Daten erzeugt Transparenz, um Trends oder Probleme überhaupt zu erkennen
- Höhere Vernetzung von Produktionskomponenten (z.B. Maschinen, IT-Systeme) erlaubt schnellere Kommunikation und damit bessere Anpassbarkeit / Optimierung

**Häufig genannte Aspekte der I. 4.0, die Robustheit negativ beeinflussen:**

- Digitalisierung führt zur Abnahme der Flexibilität und damit auch der Robustheit, da Prozesse nur für gewissen Bereich ausgelegt werden
- Unter steigenden Datenmengen leidet die Performance der IT-Systeme
- Steigende Vernetzung führt auch zu höheren Abhängigkeiten
- Erhöhte Gefahr durch Cyberkriminalität

Industrie 4.0: Digitalisierung bzw. die intelligente Vernetzung der Produktion mittels Informations- und Kommunikationstechnologien

n = 199

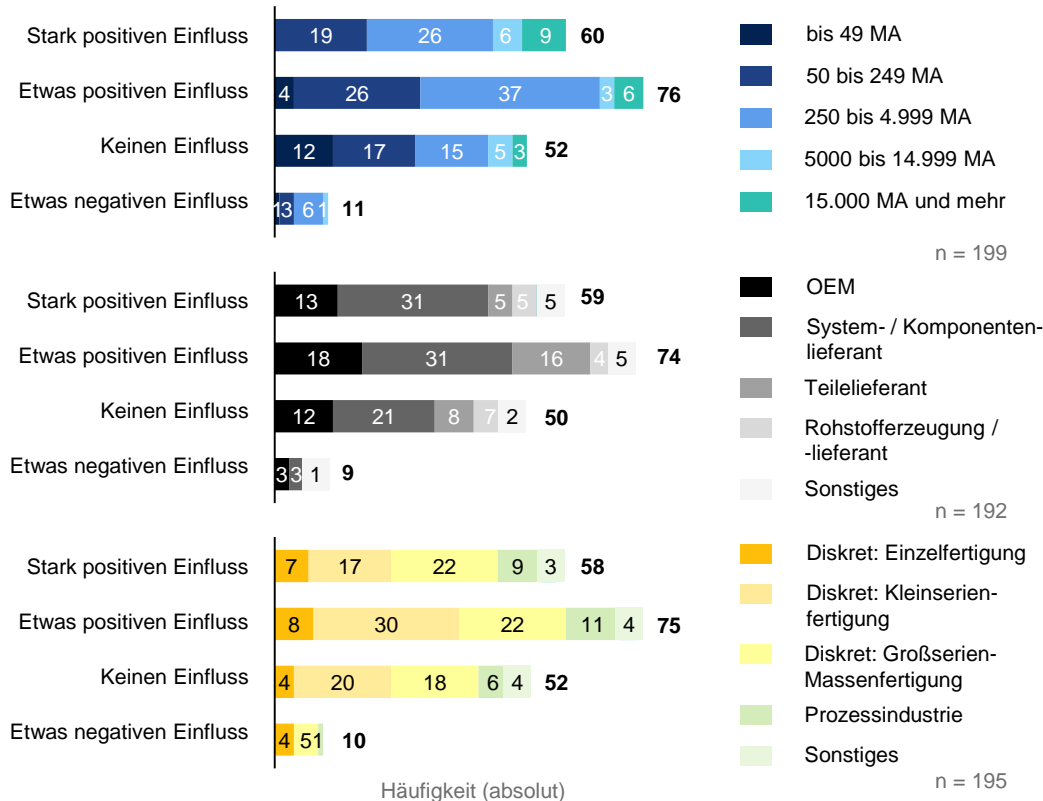
## Aussagen

- Mehr als zwei Drittel der Befragten sehen einen stark positiven (30%) oder etwas positiven (38%) Einfluss von Industrie 4.0 auf die Robustheit.
- Oft wird dabei die bessere Verfügbarkeit und Analyse von Daten zur frühzeitigen Problemerkennung erwähnt.
- Circa ein Viertel (26%) erwartet keinen Einfluss des Einzugs der Industrie 4.0 auf die Robustheit.
- Lediglich 6% der Teilnehmer befürchten einen etwas negativen Zusammenhang.
- Bedenken betreffen u.a. die Abnahme an Flexibilität, mangelnde IT-Performance oder Cyberkriminalität.
- Kein Befragter sieht einen stark negativen Einfluss von Industrie 4.0 auf die Robustheit.



## Ergebnis

**Welchen Einfluss hat der Einzug von Industrie 4.0 auf die Robustheit in Ihrem Produktionssystem?** (Aufgeschlüsselt nach Mitarbeiterzahl der Unternehmen, Position in der Wertschöpfungskette und Art des Produktionssystems)



## Aussagen

- Befragte aus Konzernen (15.000 MA und mehr) sehen am häufigsten Potentiale von Industrie 4.0 auf die Robustheit (33% etwas positiven und 50% stark positiver Einfluss).
- Teilnehmer aus kleinen Betrieben (bis 49 MA) dagegen erwarten am wenigsten einen positiven Einfluss. Bei ihnen überwiegt die Auffassung, dass kein Effekt eintreten wird (71%).
- Der Einfluss von Industrie 4.0 auf die Robustheit wird entlang der Wertschöpfungskette ähnlich bewertet. Jedoch sehen v.a. Befragte von Teilleveranten keinen Einfluss (44%).
- Teilnehmer aus Einzelfertigungen bewerten den Einfluss von Industrie 4.0 auf die Robustheit über drei Mal häufiger als etwas negativ als der Durchschnitt (17% vs. 5%).

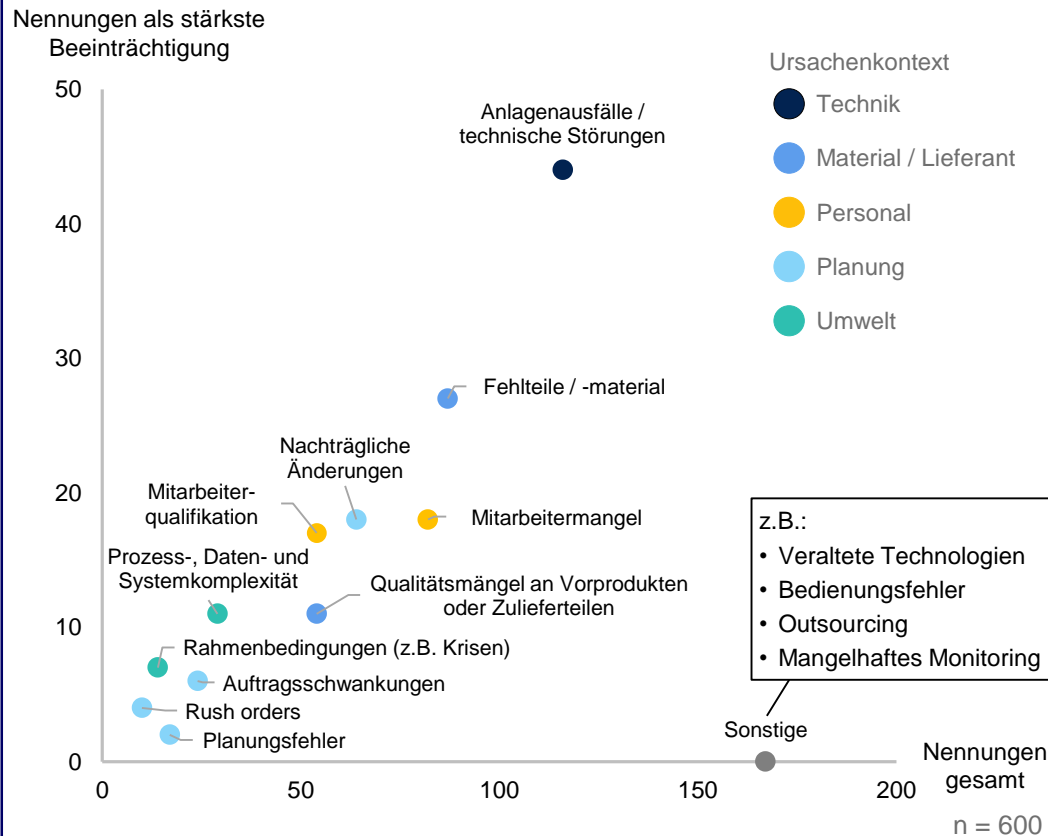
## Ausgewählte Erläuterungen der Teilnehmer zum Einfluss von Industrie 4.0 auf die Robustheit

- *Aus dem Feld Industrie 4.0 hilft der Robustheit in unseren Systemen insbesondere die Erfassung und Aufarbeitung von Daten für die Erfassung des Status unser Produktionssysteme. Ferner sind Assistenzsystem für die Mitarbeiter von Interesse.*
- *Bessere Datenanalyse und Produktverfolgung ermöglichen frühzeitige Maßnahmen bei Abweichungen.*
- *Durch bessere Sensorik und Vernetzung wird ein Produktionssystem automatisch robuster.*
- *Voraussagen von Verschleiß von Produktionswerkzeugen. Erkennen von Überlasten an Produktionsengstellen ein paar Tage oder Wochen bevor das Ereignis eintritt. Demzufolge mittelfristige bis kurzfristige Reaktionen, die die Produktion stabilisieren.*
- *Durch das kontinuierliche Monitoring des Produktionssystem lassen sich bereits Frühzeitig das abweichen von Normalzustand (Optimum) erkennen und gegensteuern. Dadurch werden ungeplante Stillstände oder Ausfallzeiten minimieren.*
- *Durch die Aufzeichnung von verschiedenen Maschinenzuständen und den dazugehörigen Auftrags-/Qualitätsdaten sollten sich entsprechend Korrelationen ergeben aus denen Ursachen und daraus erarbeitete Lösungen ergeben.*
- *erhöht Transparenz, reduziert manuellen Aufwand und damit Fehler, ermöglicht schnelle Entscheidungen*
- *Vernetzung der Anlagen ermöglicht den Fernzugriff und beschleunigt die Störungsbehebung, kurzfristige Änderungen der Auftragsreihenfolge kann aus der Ferne initiiert werden*
- *hätte einen positiven Einfluss. Kommt aber erst in 5-10 Jahren*
- *Ein stark abhängiges digital vernetztes System birgt das Risiko, dass es nur im Rahmen der vorher definierten Prozesse funktioniert und eine in bestimmten Toleranzbereichen definierte Flexibilität und Robustheit liefert. Je nach Ausprägung des heute vorhandenen Produktionssystems und des Betrachtungswinkels (Linie, Werk oder Produktionsverbund) kann die Frage mit „positiv“ oder „negativ“ beantwortet werden.*
- *Durch die enormen Datenmengen leidet die Performance der IT-Systeme. Anpassungen sind nur bis zu einem gewissen Grad machbar.*
- *Im Zeitalter von Cyberkriminalität usw. kann dies zum Stillstand der Produktion führen.*

<b>V. Ergebnisse zur Relevanz und Status Quo von Robustheit</b>	<b>27</b>
1. Priorisierung von Robustheit in Bezug auf andere Zieldimensionen	28
2. Einschätzung des momentanen Robustheitsniveaus	29
3. Auftrittshäufigkeit eines Mangels an Robustheit	31
4. Einfluss von Industrie 4.0 auf die Robustheit	32
<b>VI. Ergebnisse zu Einflüssen und Maßnahmen hinsichtlich Robustheit</b>	<b>35</b>
1. Identifizierung der stärksten bzw. häufigsten Beeinträchtigungen	36
2. Bewertung von Maßnahmen und deren Einsatz in der Praxis	37
<b>VII. Ergebnisse zu Ansätzen zur Bewertung der Robustheit</b>	<b>40</b>
1. Evaluierung der Notwendigkeit eines Bewertungsansatzes	41
2. Nutzung von Bewertungsansätzen in der Praxis	42
3. Beschreibung von bereits eingesetzten Bewertungsansätzen	44
4. Gründe für die Nichtnutzung eines Bewertungsansatzes	46
5. Bestimmung von sinnvollen Bewertungskontexten	47
<b>VIII. Generelles Feedback der Teilnehmer zum Studienthema</b>	<b>49</b>
<b>IX. Fazit aus den Studienergebnissen</b>	<b>51</b>
<b>X. Literaturverzeichnis</b>	<b>53</b>
<b>XI. Weitere Studienreports des Lehrstuhls für Produktionswirtschaft</b>	<b>58</b>

## Ergebnis

**Nennen Sie bitte Einflüsse oder Situationen, die die Robustheit Ihres Produktionssystems besonders beeinträchtigen.**

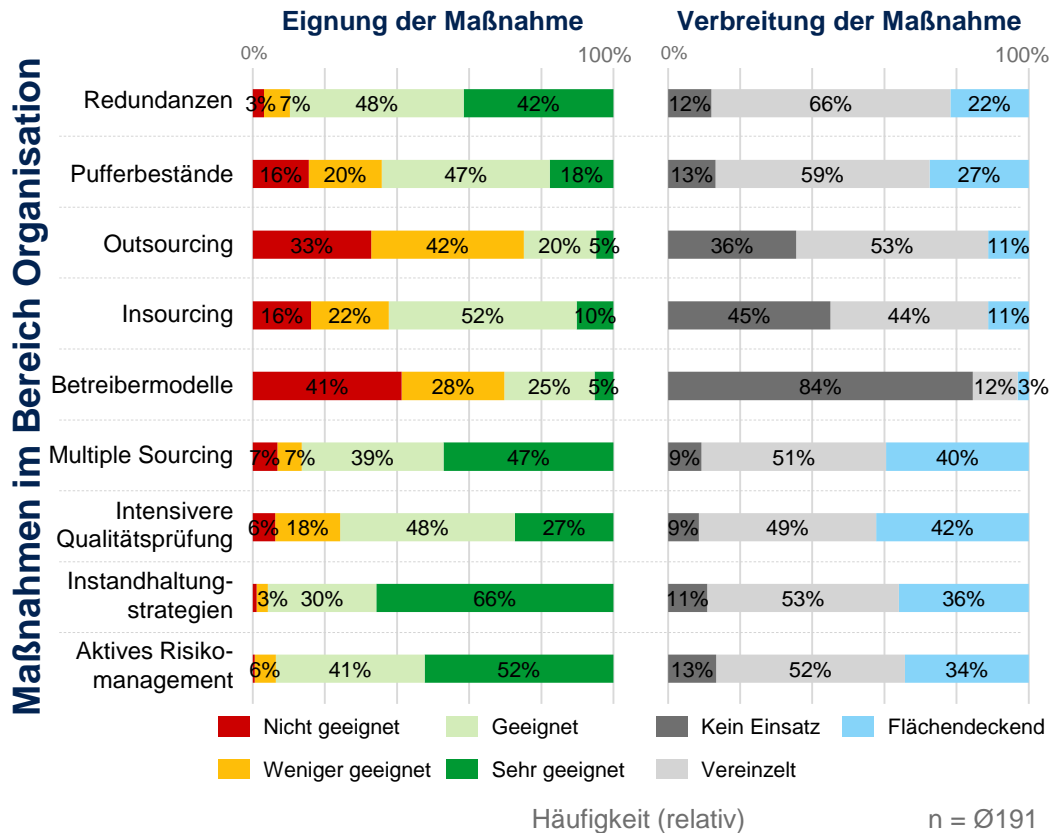


## Aussagen

- Anlagenausfälle / technische Störungen repräsentieren mit 19% aller Nennungen die am häufigsten erwähnte Beeinträchtigung von Robustheit. Zudem werden sie von einem Viertel der Befragten auch als stärkste Beeinträchtigung genannt.
- Am zweithäufigsten (15%) werden Fehlteile / -material von Zulieferern oder vorgelagerten Prozessschritten als negative Einflüsse genannt. Diese Situationen gelten für 15% der Teilnehmer als stärkste Beeinträchtigung der Robustheit.
- Personalprobleme (Mitarbeitermangel und Mangel an Qualifikation) stellen die dritt- und fünfhäufigste Einschränkungen von Robustheit dar und werden jeweils von jedem Zehnten als stärkste Einschränkung der Robustheit erwähnt.
- Allgemein stellen Einflüsse aus dem Ursachenkontext Material / Lieferant sowie Personal mit jeweils 23% die meistgenannten Beeinträchtigungen der Robustheit dar.

## Ergebnis

Wie geeignet sind folgenden Maßnahmen, um die Robustheit zu steigern?  
 Werden sie bereits in Ihrem Unternehmen eingesetzt?

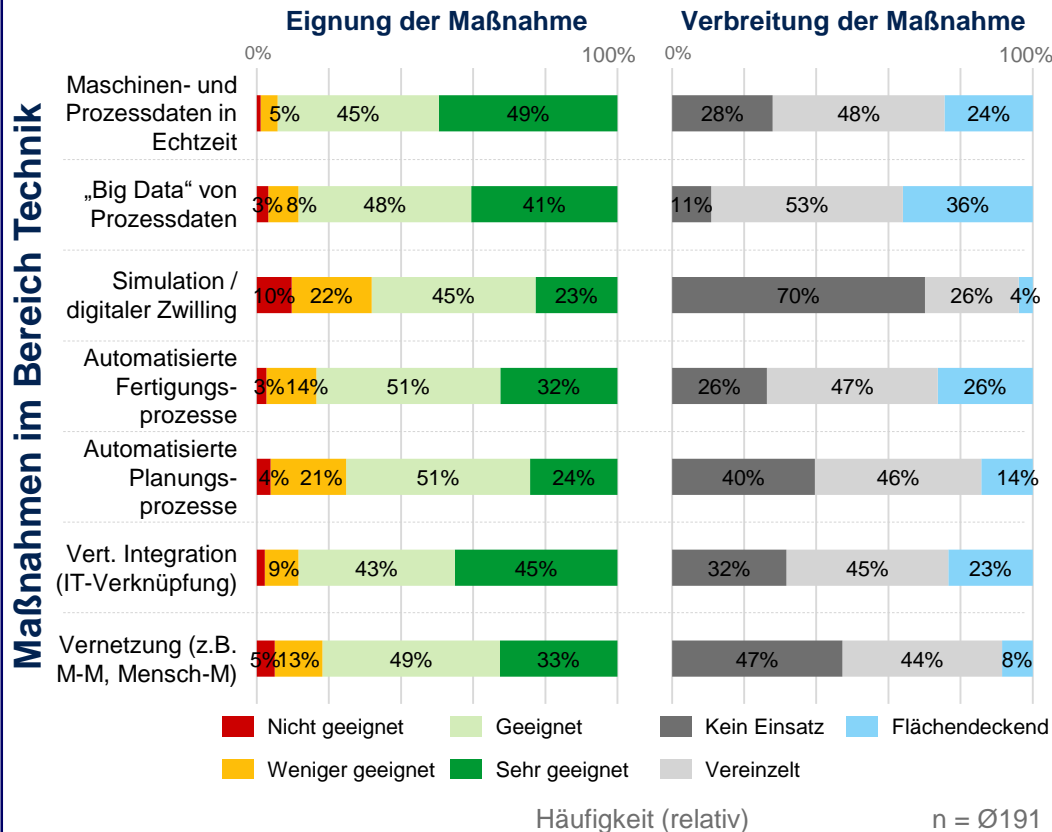


## Aussagen

- Im Bereich Organisation bewerten fast alle Befragten Redundanzen (90%), Instandhaltungsstrategien (96%) und aktives Risikomanagement (93%) als geeignete oder sehr geeignete Maßnahmen, um Robustheit zu steigern.
- V.a. Instandhaltungsstrategien und aktives Risikomanagement werden dabei oft als sehr geeignet beurteilt.
- Die geringste Eignung, Robustheit zu erhöhen, sehen die Teilnehmer im Outsourcing und in Betreibermodellen, die von 75% bzw. 69% der Befragten als nicht oder weniger geeignet bewertet werden.
- Konsequenterweise finden Betreibermodelle bei den wenigsten Befragten Anwendung (84% setzen es nicht ein).
- Am flächendeckendsten werden intensivere Qualitätsprüfungen und Multiple Sourcing eingesetzt.

## Ergebnis

Wie geeignet sind folgenden Maßnahmen, um die Robustheit zu steigern?  
 Werden sie bereits in Ihrem Unternehmen eingesetzt?



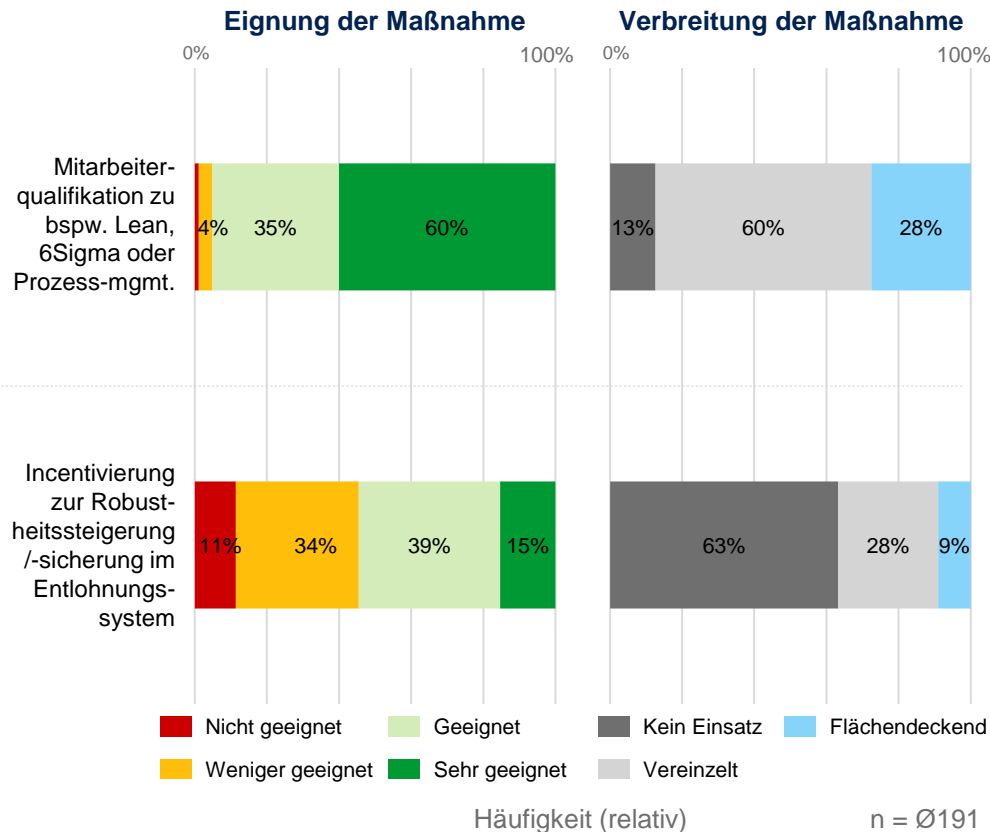
## Aussagen

- Generell erachten die meisten Teilnehmer alle Maßnahmen aus dem Bereich Technik als geeignet, die Robustheit zu steigern (je mind. 68% mit „geeignet“ oder „sehr geeignet“).
- Die Verfügbarkeit von Maschinen- und Prozessdaten in Echtzeit, die vertikale Integration sowie „Big Data“ werden von den Befragten besonders häufig als sehr geeignet bewertet.
- Knapp ein Drittel geht davon aus, dass Simulation / digitaler Zwilling wenig (22%) oder gar nicht geeignet (10%) ist, die Robustheit zu erhöhen.
- Im Bereich Technik ist „Big Data“ mit 36% am häufigsten flächendeckend im Einsatz, gefolgt von automatisierten Fertigungsprozessen (26%).
- Am wenigsten findet bis dato die Simulation / digitaler Zwilling und die Vernetzung (z.B. Maschine- Maschine oder Mensch-Maschine) Anwendung.

## Ergebnis

Wie geeignet sind folgenden Maßnahmen, um die Robustheit zu steigern?  
Werden sie bereits in Ihrem Unternehmen eingesetzt?

Maßnahmen im Bereich Personal



## Aussagen

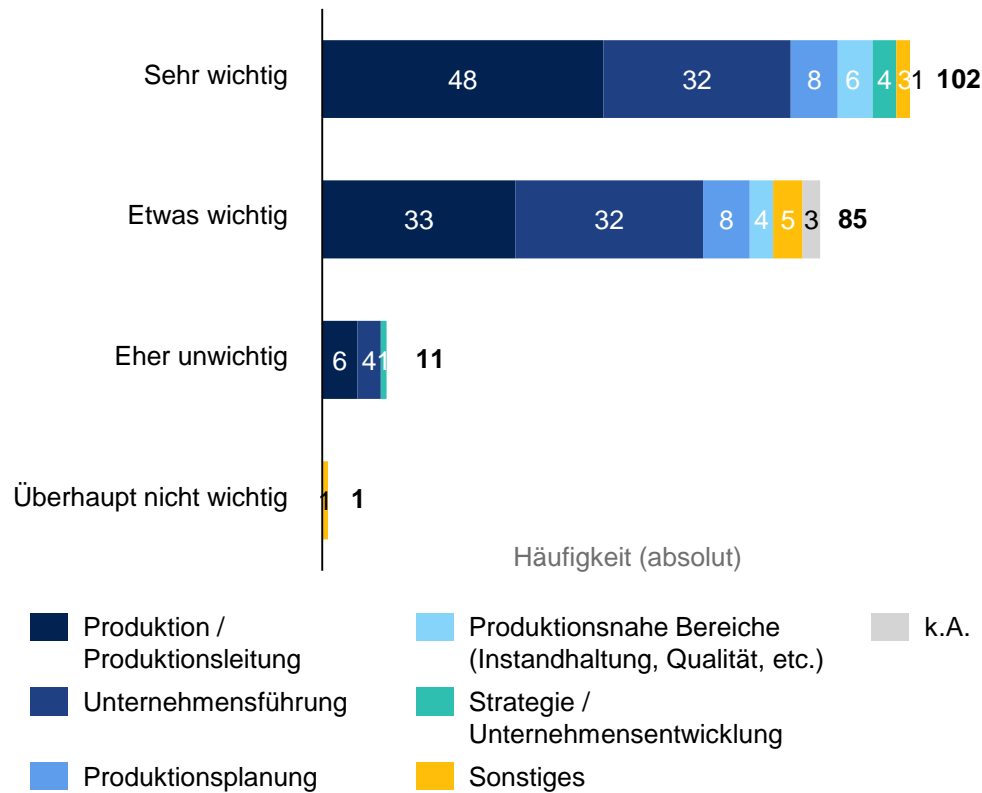
- MA-Qualifikation zu Themen wie Lean, 6Sigma usw. wird von 95% als geeignete (35%) oder sehr geeignete (60%) Maßnahme zur Steigerung der Robustheit bewertet – zusammen mit den Instandhaltungsstrategien aus dem Bereich Organisation (96%) der höchste Zustimmungswert über alle Maßnahmen hinweg.
- Allerdings findet eine solche MA-Qualifikation nur bei 28% der Teilnehmer flächendeckend statt. Bei 60% kommt diese Maßnahme zumindest vereinzelt zum Einsatz.
- Eine Incentivierung im Entlohnungs-system bzgl. Robustheit sehen nur etwas mehr als die Hälfte als geeignete (39%) oder sehr geeignete (15%) Maßnahme an.
- In etwas mehr als zwei Drittel der Betriebe der Befragten sind solche Incentivierungen zur Robustheitssteigerung vereinzelt (28%) oder flächendeckend (9%) implementiert.

<b>V. Ergebnisse zur Relevanz und Status Quo von Robustheit</b>	<b>27</b>
1. Priorisierung von Robustheit in Bezug auf andere Zieldimensionen	28
2. Einschätzung des momentanen Robustheitsniveaus	29
3. Auftrittshäufigkeit eines Mangels an Robustheit	31
4. Einfluss von Industrie 4.0 auf die Robustheit	32
<b>VI. Ergebnisse zu Einflüssen und Maßnahmen hinsichtlich Robustheit</b>	<b>35</b>
1. Identifizierung der stärksten bzw. häufigsten Beeinträchtigungen	36
2. Bewertung von Maßnahmen und deren Einsatz in der Praxis	37
<b>VII. Ergebnisse zu Ansätzen zur Bewertung der Robustheit</b>	<b>40</b>
1. Evaluierung der Notwendigkeit eines Bewertungsansatzes	41
2. Nutzung von Bewertungsansätzen in der Praxis	42
3. Beschreibung von bereits eingesetzten Bewertungsansätzen	44
4. Gründe für die Nichtnutzung eines Bewertungsansatzes	46
5. Bestimmung von sinnvollen Bewertungskontexten	47
<b>VIII. Generelles Feedback der Teilnehmer zum Studienthema</b>	<b>49</b>
<b>IX. Fazit aus den Studienergebnissen</b>	<b>51</b>
<b>X. Literaturverzeichnis</b>	<b>53</b>
<b>XI. Weitere Studienreports des Lehrstuhls für Produktionswirtschaft</b>	<b>58</b>



## Ergebnis

Wie wichtig ist es für Sie, die Robustheit eines Produktionssystems systematisch bewerten bzw. Maßnahmen bezüglich ihres Robustheitseinflusses evaluieren zu können? (Aufgeschlüsselt nach Tätigkeitsbereich der Teilnehmer)

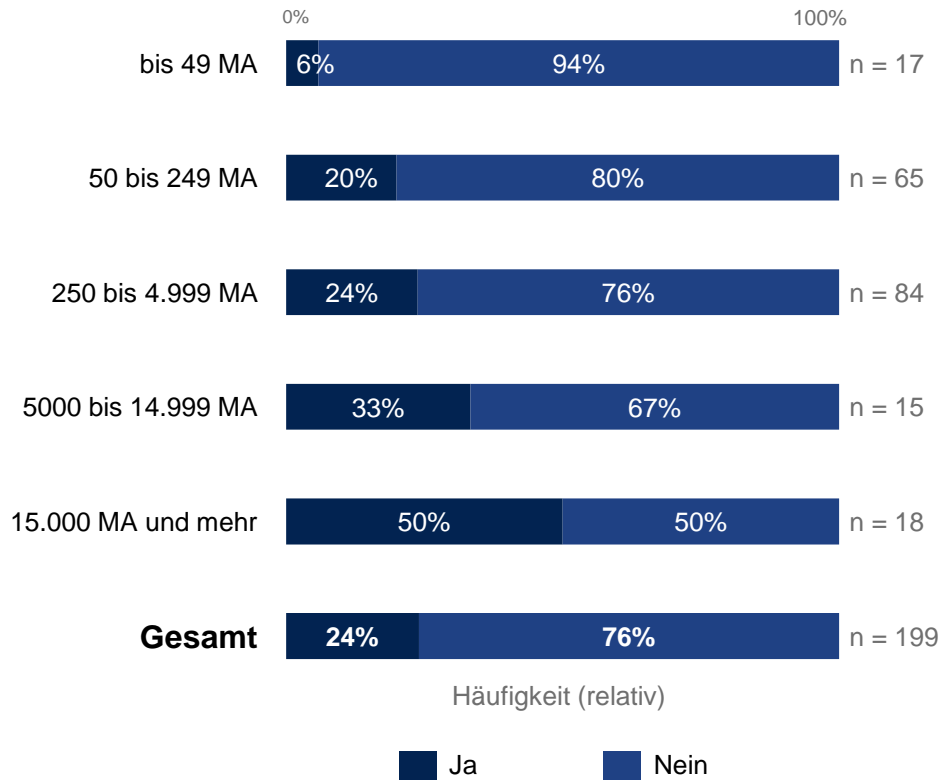


## Aussagen

- Fast alle Befragten (94%) sehen es als sehr wichtig (51%) oder etwas wichtig (42%) an, Robustheit in einem Produktionssystem systematisch evaluieren zu können.
- V.a. Beschäftigte aus der Strategie / Unternehmensentwicklung (80%), produktionsnahen Bereichen (60%) und Produktion / Produktionsleitung (55%) bewerten eine solche Bewertungsmöglichkeit oft als sehr wichtig.
- Lediglich 7% der Studienteilnehmer schätzen eine solche Möglichkeit als eher unwichtig (6%) oder gar überhaupt nicht wichtig (1%) ein.

## Ergebnis

**Wird in Ihrem Unternehmen ein systematischer Ansatz eingesetzt, um die Robustheit des Produktionssystems bzw. darauf abzielende Maßnahmen zu bewerten?** (Aufgeschlüsselt nach Mitarbeiterzahl der Unternehmen)



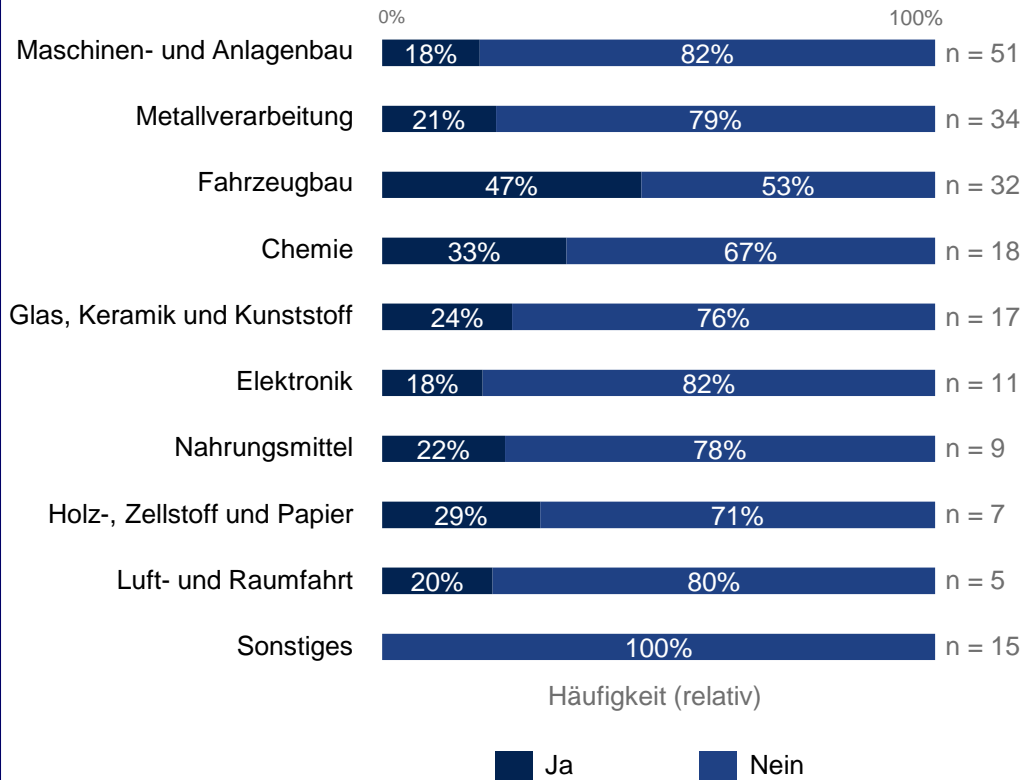
MA: Mitarbeiter

## Aussagen

- Mehr als drei Viertel der Befragten geben an, dass in ihrem Betrieb kein systematischer Ansatz zu Bewertung der Robustheit verwendet wird.
- Mit steigender Mitarbeiterzahl der Unternehmen nimmt auch die Einsatzhäufigkeit eines Bewertungsansatzes deutlich zu.
- So kommt ein Bewertungsansatz bei lediglich 6% der kleinen Betriebe (bis 49 MA), aber bei der Hälfte der Konzerne (>15.000 MA) zum Einsatz.

## Ergebnis

**Wird in Ihrem Unternehmen ein systematischer Ansatz eingesetzt, um die Robustheit des Produktionssystems bzw. darauf abzielende Maßnahmen zu bewerten?** (Aufgeschlüsselt nach Branche der Unternehmen)

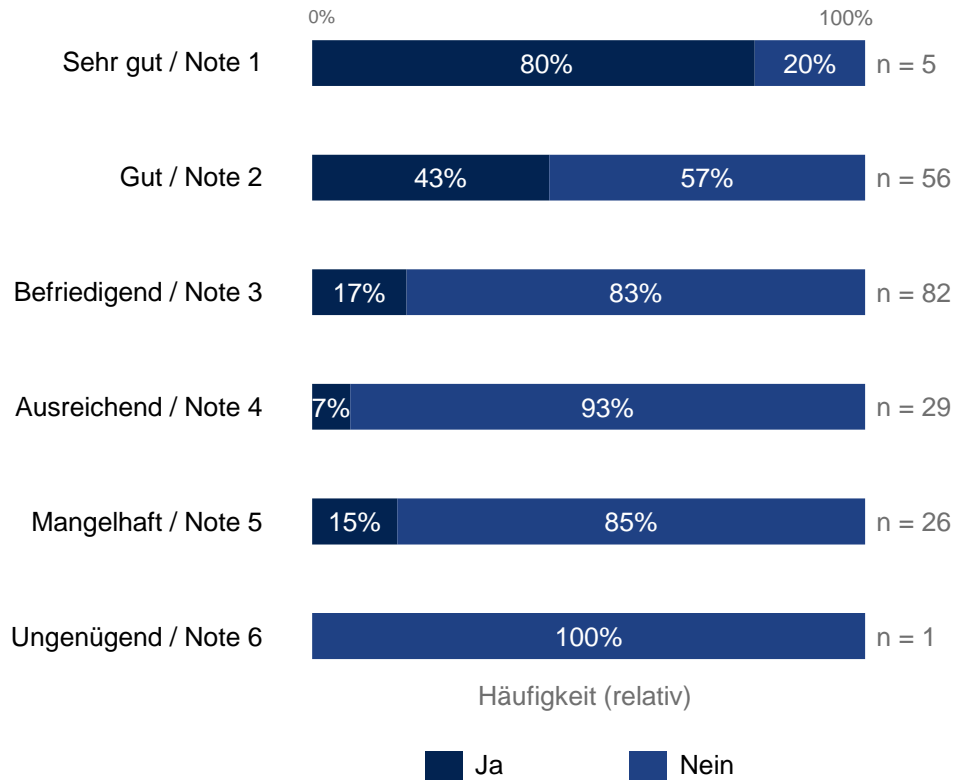


## Aussagen

- In knapp der Hälfte (47%) der Betriebe aus dem Fahrzeugbau wird ein Ansatz zur Bewertung der Robustheit eingesetzt - Höchstwert und fast doppelt so häufig wie im Durchschnitt.
- Im Maschinen- und Anlagenbau sowie in Elektronikunternehmen wird dagegen eine solche Bewertung von nur jeweils 18% der betrachteten Unternehmen angewendet.

## Ergebnis

**Wird in Ihrem Unternehmen ein systematischer Ansatz eingesetzt, um die Robustheit des Produktionssystems bzw. darauf abzielende Maßnahmen zu bewerten?** (Aufgeschlüsselt nach Bewertung des momentanen Robustheitsniveaus)



## Aussagen

- In Betrieben, in denen die Mitarbeiter die Robustheit mit gut oder sehr gut bewerten, kommt es am häufigsten zu einer systematischen Bewertung.
- Mit Ausnahme der Befragten, die die Robustheit mit Note 5 beurteilen, lässt sich ein deutlicher Zusammenhang erkennen: Falls ein Bewertungsansatz zum Einsatz kommt, wird Robustheit öfter positiver beurteilt ( $\emptyset$ -Note: 2,5 vs. 3,3 ohne Bewertung).
- Dieser Zusammenhang lässt den naheliegenden Schluss vermuten, dass die Robustheit überhaupt erst einmal systematisch erfasst und evaluiert werden muss, um sie ggf. zu beeinflussen und somit ein gutes Niveau zu erreichen.

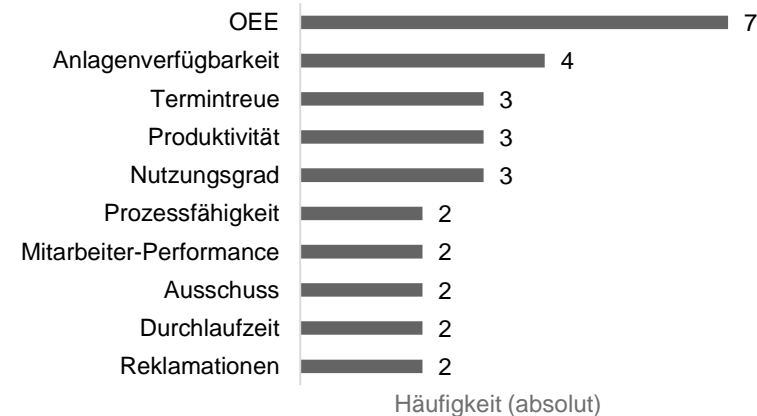
## Ergebnis

Falls ein Bewertungsansatz in Ihrem Unternehmen eingesetzt wird, beschreiben Sie diesen Ansatz kurz. (Klassifizierung der Erläuterungen\*)

Häufigkeit (absolut)

Laufendes Tracking von Produktionskennzahlen 25	Regelmäßige Risk Assessments / Audits (z.B. FMEA) 11	Sonstiges 2
----------------------------------------------------	---------------------------------------------------------	----------------

## Häufigkeit mehr als zweimal genannter Produktionskennzahlen



FMEA: Failure Mode and Effects Analysis

OEE: Overall Equipment Efficiency

n = 34

## Aussagen

- Zwei Drittel der Befragten, deren Betriebe einen Bewertungsansatz verwenden, nutzen dafür ein laufendes Tracking von Produktionskennzahlen.
- Am häufigsten wird die OEE, gefolgt von der Anlagenverfügbarkeit als konkret getrackte Kennzahl von den Teilnehmern genannt.
- In 29% der Unternehmen mit einem Bewertungsansatz wird hierzu ein regelmäßiges Risk Assessment oder Audit eingesetzt.
- Unter „Sonstiges“ fällt die Bewertung der Robustheit anhand eines sog. „Wartungsplaners“ und durch das „Führen von Instandhaltungskarten“.

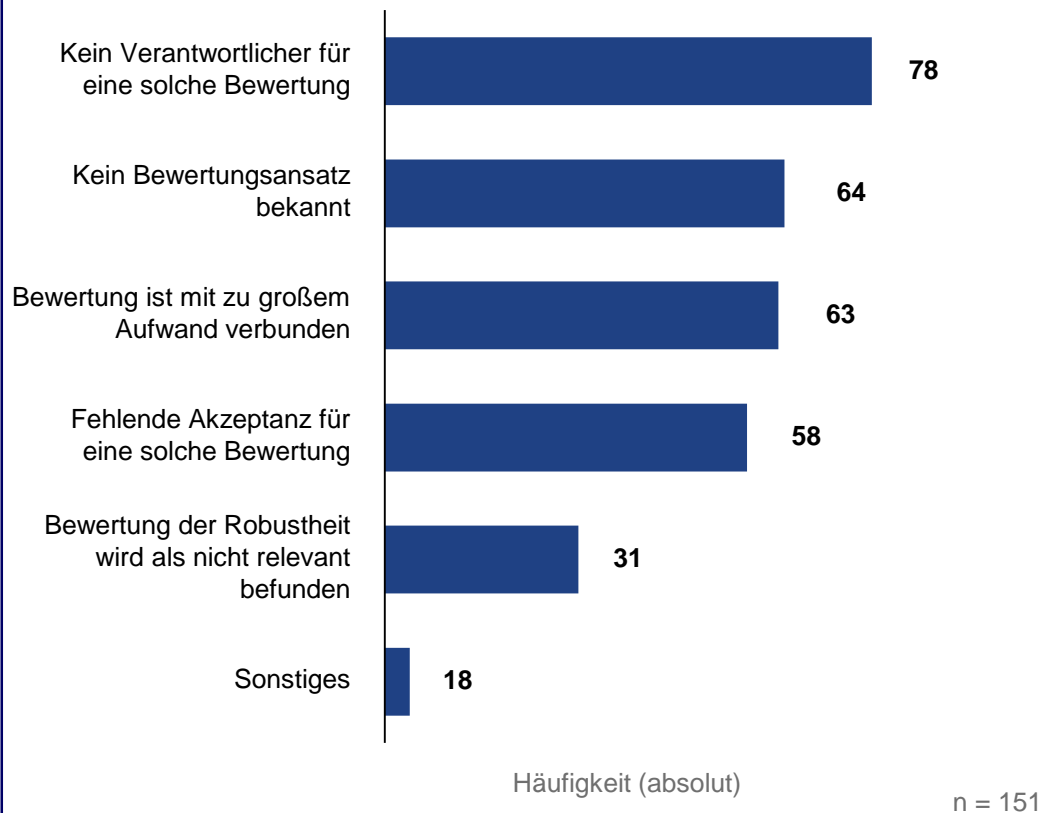
\* Zuordnung einer Erläuterung zu mehreren Kategorien möglich.

## Ausgewählte Erläuterungen der Teilnehmer zu ihrem individuell eingesetzten Bewertungsansatz

- *tägliches OEE-Monitoring; Bewertung der Planungstreue.*
- *Tägliches Tracking der Unternehmenskennzahlen, Validierung eingeleiteter Maßnahmen und ggf. Nachschärfen der Maßnahmen. Verfolgung der Nachhaltigkeit.*
- *Laufende Auswertung von Qualitäts-, Produktivitäts- und Verfügbarkeitsdaten aller wertschöpfenden Prozesse/Anlagen.*
- *Durch ausgewählte KPI's wird die Robustheit definiert. Dazu gibt es natürlich Ziele und Operation Exzellenz Systeme zur ständigen Verbesserung. Damit sind Werke und Produktionsstätten untereinander vergleichbar.*
- *Ermittlung und Monitoring verschiedener Kennzahlen wie z. B. Produktivität, Nutzungsgrade, Ausschuss etc.*
- *Es wird eine OEE Auswertung auf Basis der erfassten MDE Daten gemacht.*
- *... Die Robustheit wird durch sogenannte "Quality Gates" bewertet, welche an prägnanten Orten innerhalb des Prozesses angeordnet sind. Hier werden die relevanten Daten erhoben und graphisch abgebildet.*
- *Risk Assessment je Prozess zumindest 1x jährlich.*
- *Wir betreiben ein sogenanntes Cockpit für das Produktionssystem, das die verschiedenen Säulen des Systems alle 1-2 Jahre beurteilt; diverse Elemente der 9001er-Zertifizierung enthalten weitere Aspekte, z.B. die Chancen-Risiko-Matrix; im Rahmen von Compliance-Anforderungen das Risk-Management.*
- *Regelmäßige Prozessaudits. Hier werden Bewertungskriterien wie Prozesseinhaltung, Zustand des Equipments, Wissen des Personals, Qualitätsmerkmale und Dokumentationen bewertet. Punktesystem 1-6 (gut-nicht vorhanden).*
- *GTI = Ganzheitliche TaktInstallation: Interdisziplinäres Team geht an Hand einer Checkliste (Anlagentechnik, Arbeitssicherheit, Arbeitsunterlagen, Quali-Matrix, Fehlerquote, Layout etc.) den Prozess von innen (Arbeitsplatz mit Wertschöpfung) nach außen (Startpunkt der Versorgungskette) an. Sofern Abweichungen auftreten, wird die Ursache ermittelt, eine Lösung definiert und die Wirksamkeit dieser von außen nach innen überprüft. Die Lösung muss einen reibungslosen Ablauf am Arbeitsplatz mit Wertschöpfung ermöglichen.*

## Ergebnis

Was sind die Gründe, weshalb die Robustheit des Produktionssystems in Ihrem Unternehmen nicht bewertet wird?\*



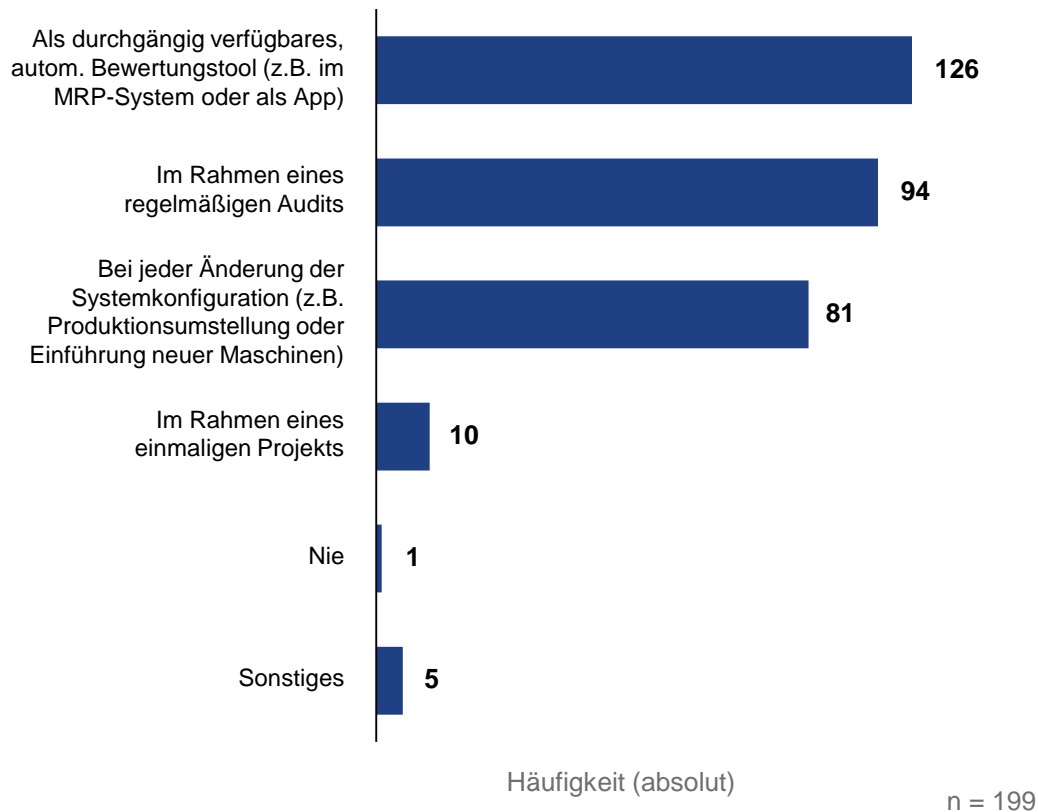
\* Mehrfachauswahl möglich

## Aussagen

- Über die Hälfte der Teilnehmer (52%) sieht als Grund für das Fehlen einer Robustheitsbewertung, dass dafür keine Verantwortlichen definiert sind.
- Je 42% der Befragten geben an, dass ihnen kein Bewertungsansatz bekannt sei oder dass eine solche Bewertung zu aufwendig sei.
- Ein Mangel an Relevanz der Robustheitsbewertung ist lediglich für 21% der Befragten ein Grund für das Fehlen einer solchen Bewertung.
- Unter „Sonstiges“ werden bspw. folgende Gründe aufgeführt:
  - Kein Zusammenhang zwischen Robustheit und finanziellen Auswirkungen ableitbar
  - Keine ausreichenden Mitarbeiterressourcen vorhanden
  - Robustheit wird indirekt über andere Kennzahlen gemessen
  - Bewertungsansatz befindet sich gerade in der Einführung

## Ergebnis

### In welchem Kontext macht die Anwendung einer Robustheitsbewertung aus Ihrer Sicht am meisten Sinn?\*



\* Mehrfachauswahl möglich

## Aussagen

- Für die Mehrheit der Befragten (63%) macht eine Robustheitsbewertung v.a. als durchgängig verfügbares, automatisiertes Bewertungstool Sinn.
- Für knapp die Hälfte würde es ausreichen, eine Bewertung der Robustheit im Rahmen von regelmäßigen Audits durchzuführen.
- Vier aus zehn Teilnehmern votieren für den Einsatz einer Robustheitsbewertung bei jeder Änderung der Systemkonfiguration.
- Für die wenigsten Befragten (5%) erscheint es zweckmäßig, nur eine einmalige projektbasierte Bewertung durchzuführen.
- „Sonstiges“ enthält u.a. die Vorschläge, eine Bewertung im Rahmen von KVP-Teammeetings oder der Produktqualifizierung durchzuführen.



<b>V. Ergebnisse zur Relevanz und Status Quo von Robustheit</b>	<b>27</b>
1. Priorisierung von Robustheit in Bezug auf andere Zieldimensionen	28
2. Einschätzung des momentanen Robustheitsniveaus	29
3. Auftrittshäufigkeit eines Mangels an Robustheit	31
4. Einfluss von Industrie 4.0 auf die Robustheit	32
<b>VI. Ergebnisse zu Einflüssen und Maßnahmen hinsichtlich Robustheit</b>	<b>35</b>
1. Identifizierung der stärksten bzw. häufigsten Beeinträchtigungen	36
2. Bewertung von Maßnahmen und deren Einsatz in der Praxis	37
<b>VII. Ergebnisse zu Ansätzen zur Bewertung der Robustheit</b>	<b>40</b>
1. Evaluierung der Notwendigkeit eines Bewertungsansatzes	41
2. Nutzung von Bewertungsansätzen in der Praxis	42
3. Beschreibung von bereits eingesetzten Bewertungsansätzen	44
4. Gründe für die Nichtnutzung eines Bewertungsansatzes	46
5. Bestimmung von sinnvollen Bewertungskontexten	47
<b>VIII. Generelles Feedback der Teilnehmer zum Studienthema</b>	<b>49</b>
<b>IX. Fazit aus den Studienergebnissen</b>	<b>51</b>
<b>X. Literaturverzeichnis</b>	<b>53</b>
<b>XI. Weitere Studienreports des Lehrstuhls für Produktionswirtschaft</b>	<b>58</b>

## Ausgewählte Anmerkungen der Teilnehmer im abschließenden Freitextfeld der Umfrage

- *In der global vernetzten Produktion gewinnt die Robustheit der Produktionsprozesse gegenüber geringfügigen Änderungen am System (Mensch, Maschine, Mitwelt, ... 5 M's) an Bedeutung, da ein mehr fehlerverzeihender Prozess weniger Ressourcen für eine stabile Produktivität auf gleichbleibendem Qualitätsniveau benötigt. Fehlende Robustheit, mangelnde Stabilität und Widerstandsfähigkeit gegenüber kleinsten Änderungen erfordern unter Umständen (besonders über kulturelle und sprachliche Grenzen hinweg) einen hohen Aufwand an Kommunikation und Pflege. Die finanziellen meistens ungeplanten Mehrkosten zur Optimierung der weniger robusten Prozesse kann sich aufgrund der dadurch verursachten Qualitäts- und Lieferperformance sehr negative auf das Unternehmensergebnis und die Wettbewerbsfähigkeit auswirken. Der Transfer robuster Technologien in Niedriglohnländer kann sich dort als nicht so robust herausstellen, wie ursprünglich erwartet. Dennoch können eine höhere Flexibilität und Engagement die Robustheit auch dort wieder erhöhen. Wichtige bereits bestehende KPI's wie MTTR oder MBTF könnten zur Ermittlung eines Robustheitsfaktors beitragen...*
- *In den häufigsten Fällen wird hierüber gar nicht gesprochen, da es kein Bewusstsein dafür gibt. Der Klassiker sieht so aus, dass eine Anlage bei einem Lieferanten abgenommen wird und auch sehr gute OEE Werte liefert. Sobald sich minimal an den Einzelteilen oder dem Prozess etwas ändert liefert die Anlage nicht mehr die notwendige Performance. Gerade im Zusammenspiel Produktionsprozess, Teilespezifikation und dem transparent machen von daraus resultierenden Kosten sehe ich noch großes Potential.*
- *... ggf. Einfluss von langfristigen <-> kurzfristiger Incentives / Unternehmenszielen mit betrachten.*
- *Aus meiner Sicht muss unbedingt der Produktionsprozess selbst mit in die Betrachtung integriert werden.*

<b>V. Ergebnisse zur Relevanz und Status Quo von Robustheit</b>	<b>27</b>
1. Priorisierung von Robustheit in Bezug auf andere Zieldimensionen	28
2. Einschätzung des momentanen Robustheitsniveaus	29
3. Auftrittshäufigkeit eines Mangels an Robustheit	31
4. Einfluss von Industrie 4.0 auf die Robustheit	32
<b>VI. Ergebnisse zu Einflüssen und Maßnahmen hinsichtlich Robustheit</b>	<b>35</b>
1. Identifizierung der stärksten bzw. häufigsten Beeinträchtigungen	36
2. Bewertung von Maßnahmen und deren Einsatz in der Praxis	37
<b>VII. Ergebnisse zu Ansätzen zur Bewertung der Robustheit</b>	<b>40</b>
1. Evaluierung der Notwendigkeit eines Bewertungsansatzes	41
2. Nutzung von Bewertungsansätzen in der Praxis	42
3. Beschreibung von bereits eingesetzten Bewertungsansätzen	44
4. Gründe für die Nichtnutzung eines Bewertungsansatzes	46
5. Bestimmung von sinnvollen Bewertungskontexten	47
<b>VIII. Generelles Feedback der Teilnehmer zum Studienthema</b>	<b>49</b>
<b>IX. Fazit aus den Studienergebnissen</b>	<b>51</b>
<b>X. Literaturverzeichnis</b>	<b>53</b>
<b>XI. Weitere Studienreports des Lehrstuhls für Produktionswirtschaft</b>	<b>58</b>

- Obwohl das Thema der Robustheit von Produktionssystemen schon länger präsent ist, zeigt die Studie, dass sich in der industriellen Praxis noch **kein flächendeckendes, klares Verständnis von Robustheit in Produktionssystemen** entwickeln konnte. Mit dem Definitionsvorschlag dieser Studie, dem 98% der Teilnehmer zustimmen, könnte somit eine Basis für ein einheitliches, konzeptionelles Verständnis von Robustheit gelegt werden. Da die meisten Teilnehmer davon ausgehen, dass ein robustes Produktionssystem auch zumindest zu gewissem Maße flexibel, agil, resilient und resistent ist, kann vermutet werden, dass es sich bei der **Robustheit um ein übergeordnetes Konzept in der Produktion** handelt.
- In der Praxis lässt sich bei **heutigen Produktionssystemen oft ein Verbesserungspotential an Robustheit** feststellen, für das v.a. technische Probleme und Ausfälle verantwortlich gemacht werden. Geeignete Maßnahmen, die Robustheit zu verbessern, wie Mitarbeiterqualifikation zu Lean, 6Sigma o.Ä sowie adäquate Instandhaltungsstrategien sind jedoch nur bedingt flächendeckend im Einsatz. Mit dem Einzug von **Industrie 4.0 in der Produktion ergeben sich weitere Potentiale**, die Robustheit zu steigern, bspw. durch Echtzeitdaten, „Big Data“ oder vertikale Integration. Diese bedürfen jedoch einer weiteren Verbreitung. Dabei müssen v.a. noch kleine Betriebe und Lieferanten einfacher Teile von den positiven Effekten überzeugt werden.
- Die Studie zeigt sehr deutlich die **Notwendigkeit auf, effiziente und praktikable Ansätze zur systematischen Bewertung der Robustheit zu entwickeln**. So stimmen fast alle Studienteilnehmern zu, dass eine systematische Robustheitsbewertung essentiell ist. Allerdings führen überhaupt **nur 24% der betrachteten Unternehmen eine solche Evaluierung ihrer Robustheit** durch, wobei mit steigender Unternehmensgröße auch die Nutzung zunimmt. Überdies lässt die Studie vermuten, dass ein **systematischer Bewertungsansatz eine notwendige Voraussetzung** dafür ist, um überhaupt ein gutes Niveau der Robustheit des Produktionssystems zu erzielen.

<b>V. Ergebnisse zur Relevanz und Status Quo von Robustheit</b>	<b>27</b>
1. Priorisierung von Robustheit in Bezug auf andere Zieldimensionen	28
2. Einschätzung des momentanen Robustheitsniveaus	29
3. Auftrittshäufigkeit eines Mangels an Robustheit	31
4. Einfluss von Industrie 4.0 auf die Robustheit	32
<b>VI. Ergebnisse zu Einflüssen und Maßnahmen hinsichtlich Robustheit</b>	<b>35</b>
1. Identifizierung der stärksten bzw. häufigsten Beeinträchtigungen	36
2. Bewertung von Maßnahmen und deren Einsatz in der Praxis	37
<b>VII. Ergebnisse zu Ansätzen zur Bewertung der Robustheit</b>	<b>40</b>
1. Evaluierung der Notwendigkeit eines Bewertungsansatzes	41
2. Nutzung von Bewertungsansätzen in der Praxis	42
3. Beschreibung von bereits eingesetzten Bewertungsansätzen	44
4. Gründe für die Nichtnutzung eines Bewertungsansatzes	46
5. Bestimmung von sinnvollen Bewertungskontexten	47
<b>VIII. Generelles Feedback der Teilnehmer zum Studienthema</b>	<b>49</b>
<b>IX. Fazit aus den Studienergebnissen</b>	<b>51</b>
<b>X. Literaturverzeichnis</b>	<b>53</b>
<b>XI. Weitere Studienreports des Lehrstuhls für Produktionswirtschaft</b>	<b>58</b>

- Bauer, W./Schlund, S./Marrenbach, D./Ganschar, O. (2014): Industrie 4.0 - Volkswirtschaftliches Potenzial für Deutschland, BITKOM, Fraunhofer-Institut für Arbeitswissenschaft und Organisation, Berlin, Stuttgart.
- Benderbal, H. H./Dahane, M./Benyoucef, L. (2015): A new Robustness index for machines selection in Reconfigurable Manufacturing System, in: Framinan, J. M./Gonzalez, P. P./Artiba, A. (Hrsg.): Proceedings of the 2015 International Conference on Industrial Engineering and Systems Management, Seville, 21-23 October, IEEE, S. 1019–1026.
- Bernardes, E. S./Hanna, M. D. (2009): A theoretical review of flexibility, agility and responsiveness in the operations management literature, in: International Journal of Operations & Production Management, 29 (1), S. 30–53.
- BMWi (2019): Plattform Industrie 4.0 - Digitale Transformation "Made in Germany", Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Berlin.
- Du, W./Tang, Y./Leung, S. Y. S./Le Tong/Vasilakos, A. v./Qian, F. (2018): Robust Order Scheduling in the Discrete Manufacturing Industry: A Multiobjective Optimization Approach, in: IEEE Transactions on Industrial Informatics, 14 (1), S. 253–264.
- Durach, C. F./Wieland, A./Machuca, J. A. d. (2015): Antecedents and dimensions of supply chain robustness: a systematic literature review, in: International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, 45 (1-2), S. 118–137.
- Dyckhoff, H. (2006): Produktionstheorie - Grundzüge industrieller Produktionswirtschaft, 5. Aufl., Berlin, Heidelberg: Springer.
- Egri, P./Gyulai, D./Kadar, B./Monostori, L. (2016): Production Planning on Supply Network and Plant Levels: The RobustPlaNet Approach, in: ERCIM News (105), 14-15.
- Giannetti, C./Ransing, R. S. (2016): Risk based uncertainty quantification to improve robustness of manufacturing operations, in: Computers & Industrial Engineering, 101, S. 70–80.
- Himmiche, S./Marangé, P./Aubry, A./Pétin, J.-F. (2018): Robust production scheduling under machine failures - A DES based evaluation approach, in: IFAC-PapersOnLine, 51 (7), S. 271–276.
- Huber, W. (2016): Industrie 4.0 in der Automobilproduktion, Wiesbaden: Springer Fachmedien.
- Jain, A./Jain, P. K./Chan, F. T.S./Singh, S. (2013): A review on manufacturing flexibility, in: International Journal of Production Research, 51 (19), S. 5946–5970.
- Jakubovskis, A. (2017): Flexible production resources and capacity utilization rates: A robust optimization perspective, in: International Journal of Production Economics, 189, S. 77–85.

- Li, Y./Ying, B. (2009): A performance assessment on manufacturing nodes in robust design of supply chain networks (SCNs), in: Proceedings of the 16th IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management 2009, Beijing, 21-23 October, S. 1442–1446.
- Luft, N./Besenfelder, C. (2014): Flexibility based Assessment of Production System Robustness, in: Procedia CIRP, 19, S. 81–86.
- Mondal, S. C./Maiti, J./Ray, P. K. (2010): Development of a measurement metric for manufacturing process robustness, in: International Journal of Productivity and Quality Management, 6 (2), S. 156–181.
- Mondal, S. C./Ray, P. K./Maiti, J. (2014): Modelling robustness for manufacturing processes: a critical review, in: International Journal of Production Research, 52 (2), S. 521–538.
- Obermaier, R. (2019): Industrie 4.0 und Digitale Transformation als unternehmerische Gestaltungsaufgabe, in: Obermaier, R. (Hrsg.): Handbuch Industrie 4.0 und Digitale Transformation - Betriebswirtschaftliche, technische und rechtliche Herausforderungen, Wiesbaden: Springer, S. 3–46.
- Rossi, A. (2010): A robustness measure of the configuration of multi-purpose machines, in: International Journal of Production Research, 48 (4), S. 1013–1033.
- Sabuncuoglu, I./Goren, S. (2009): Hedging production schedules against uncertainty in manufacturing environment with a review of robustness and stability research, in: International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 22 (2), S. 138–157.
- Sanchez, L. M./Nagi, R. (2001): A review of agile manufacturing systems, in: International Journal of Production Research, 39 (16), S. 3561–3600.
- Schnell, R./Hill, P. B./Esser, E. (2013): Methoden der empirischen Sozialforschung, 10. überarbeitete Auflage, München: Oldenbourg Verlag.
- Stricker, N./Lanza, G. (2014): The Concept of Robustness in Production Systems and its Correlation to Disturbances, in: Procedia CIRP, 19, S. 87–92.
- Stricker, N./Pfeiffer, A./Moser, E./Kádár, B./Lanza, G./Monostori, L. (2015): Supporting multi-level and robust production planning and execution, in: CIRP Annals, 64 (1), S. 415–418.

- Tolio, T./Urgo, M./Váncza, J. (2011): Robust production control against propagation of disruptions, in: CIRP Annals, 60 (1), S. 489–492.
- Wreathall, J. (2006): Properties of Resilient Organizations: An Initial View, in: Woods, D. D./Hollnagel, E./Leveson, N. (Hrsg.): Resilience Engineering - Concepts and Precepts, Hampshire: Ashgate Publishing, S. 275–286.
- Xiong, J./Xing, L.-n./Chen, Y.-w. (2013): Robust scheduling for multi-objective flexible job-shop problems with random machine breakdowns, in: International Journal of Production Economics, 141 (1), S. 112–126.
- Yin, R. (2014): Case Study Research, 5. Aufl., Thousand Oaks: Sage.
- Zhang, W. J./Luttervelt, C. A. van (2011): Toward a resilient manufacturing system, in: CIRP Annals, 60 (1), S. 469–472.



## Lehrstuhlinhaber



Univ.-Prof. Dr. habil.  
**Herwig Winkler**

T: +49 (0)355 69 4120  
E: [winkler@b-tu.de](mailto:winkler@b-tu.de)

### Kontakt:

BTU Cottbus-Senftenberg  
Lehrstuhl für Produktionswirtschaft  
Siemens-Halske-Ring 6  
03046 Cottbus

## Projektansprechpartner



M.Sc.  
**Christian Stockmann**

T: +49 (0)178 196 2259  
E: [christian.stockmann@b-tu.de](mailto:christian.stockmann@b-tu.de)

T: +49 (0)355 69-4089  
F: +49 (0)355 69-4091  
E: [winkler@b-tu.de](mailto:winkler@b-tu.de)  
I: [www.b-tu.de/fg-produktionswirtschaft](http://www.b-tu.de/fg-produktionswirtschaft)

<b>V. Ergebnisse zur Relevanz und Status Quo von Robustheit</b>	<b>27</b>
1. Priorisierung von Robustheit in Bezug auf andere Zieldimensionen	28
2. Einschätzung des momentanen Robustheitsniveaus	29
3. Auftrittshäufigkeit eines Mangels an Robustheit	31
4. Einfluss von Industrie 4.0 auf die Robustheit	32
<b>VI. Ergebnisse zu Einflüssen und Maßnahmen hinsichtlich Robustheit</b>	<b>35</b>
1. Identifizierung der stärksten bzw. häufigsten Beeinträchtigungen	36
2. Bewertung von Maßnahmen und deren Einsatz in der Praxis	37
<b>VII. Ergebnisse zu Ansätzen zur Bewertung der Robustheit</b>	<b>40</b>
1. Evaluierung der Notwendigkeit eines Bewertungsansatzes	41
2. Nutzung von Bewertungsansätzen in der Praxis	42
3. Beschreibung von bereits eingesetzten Bewertungsansätzen	44
4. Gründe für die Nichtnutzung eines Bewertungsansatzes	46
5. Bestimmung von sinnvollen Bewertungskontexten	47
<b>VIII. Generelles Feedback der Teilnehmer zum Studienthema</b>	<b>49</b>
<b>IX. Fazit aus den Studienergebnissen</b>	<b>51</b>
<b>X. Literaturverzeichnis</b>	<b>53</b>
<b>XI. Weitere Studienreports des Lehrstuhls für Produktionswirtschaft</b>	<b>58</b>

## Untersuchung von Hindernissen zur Digitalisierung in der industriellen Produktion

Studienreport des Lehrstuhls für Produktionswirtschaft Band 4

## Untersuchung des Status quo betrieblicher Entscheidungsunterstützungssysteme im Zuge der fortschreitenden Digitalisierung

Studienreport des Lehrstuhls für Produktionswirtschaft Band 3

## Zukunft elektrochemischer Speicher für Hybridantriebe - Studienreport am Beispiel von Hybridrangierlokomotiven

Studienreport des Lehrstuhls für Produktionswirtschaft Band 2

## Die Wertstrommethode im Zeitalter von Industrie 4.0

Studienreport des Lehrstuhls für Produktionswirtschaft Band 1



Link zum Downloadbereich des Lehrstuhls: <https://www.b-tu.de/fg-produktionswirtschaft/downloads>